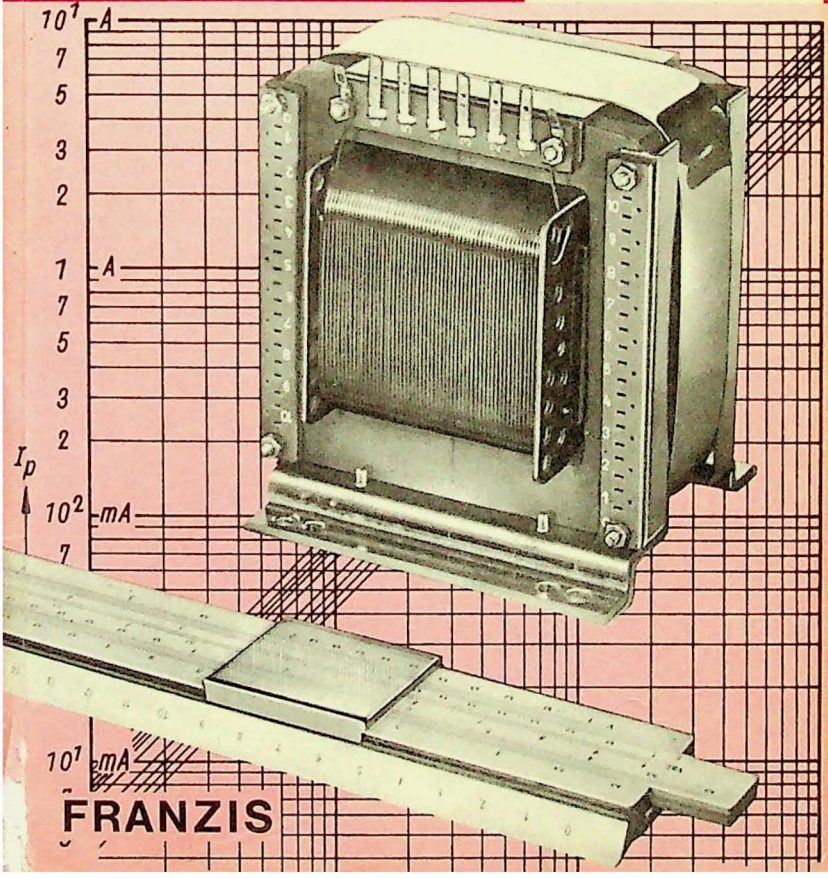
Dr.-Ing. Paul E. Klein

Netztransformatoren und Drosseln

Berechnung und Bau

RPB
Radio-Praktiker-Bücherei
106 107a



FRANZIS

RPB Radio-Praktiker-Bücherei Titelverzeichnis

Jeder Einfach-Band umfaßt etwa 60–70 Seiten, enthält bis zu 70 Bilder und Tabellen. Mehrfach-Bände entsprechend. Die Nummer vor dem Titel ist die Bestell-Nummer. Preisänderungen und Liefermöglichkeiten vorbehalten.

Preise: Einfach-Band DM 2.90; Doppel-Band DM 5.60; Dreifach-Band DM 7.90.

1 Endröhren und Endstufen-Transistoren und ihre Schaltungen (Sutaner). 3. Aufl.

3/5 UKW-FM-Rundfunk-Praktikum (Mende). 6. Aufl.

6 Antennen für Rundfunk- und Fernseh-Empfang (Mende). 12. Aufl.

7/8 Niederfrequenz-Verstärker mit Röhren und Transistoren (Kühne). 13. Aufl.

9/10 Tonbandgeräte-Praxis (Junghans). 10. Aufl.

11/12 Mono-, Stereo- und Transistor-Mikrofone (Kühne). 8. Aufl.

13 Schliche und Kniffe für Radiopraktiker, Teil I (Kühne). 9. Aufl.

14 Wellen und Frequenzen für Rundfunk und Fernsehen (Büscher). 4. Aufl.

16 Widerstandskunde für Radio-Praktiker (Hoffmeister). 6. Aufl.

18/19 Radio-Röhren (Mende). 3. Aufl.

20 Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern (Renardy). 12 Aufl.

21/21a Funktechniker lernen Formelrechnen (Kunze). 7. Aufl.

22/23a Lehrgang Radiotechnik Band I (Jacobs). 11. Aufl.

24/25a desgl., Band II (Jacobs). 7. Aufl.

27/27a Rundfunkempfang mit Transistoren und Detektoren (Mende). 12. Aufl.

28/28b Glimmröhren und Kaltkatoden-Relaisröhren (Herrnkind). 5. Auflage.

29/30 Kleines ABC der Elektroakustik (Büscher). 5. Aufl.

31/32 Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure I. Teil (Steinhauser). 10. Aufl.

33/35 Dioden-, Röhren und Transistor-voltmeter (Limann). 7. Aufl.

37/38 Fehlersuche durch Signalverfolgung und Signalzuführung (Renardy). 5. Aufl.

41/41a Kurzwellen- und UKW-Empfänger für Amateure Band 1. Geradeausempfänger und Standardsuper (Diefenbach). 11. Aufl.

42/42b desgl., Band 2. Spitzensuper und Transistorempfänger (Diefenbach).

43 Musikübertragungs-Anlage (Kühne). 5. Aufl.

44 Kurzwellen-Amateurantennen (Diefenbach). 7. Aufl.

45/46 UKW-Sender- und Empfänger-Baubuch für Amateure (Steinhauser). 7. Aufl.

50 Praktischer Antennenbau (Mende). 12. Aufl.

52/54d Fernsehempfangstechnik (Koubek). 1. Aufl. DM 18.30.

55/56a Fernsehtechnik von A bis Z (Conrad). 5. Aufl.

57 Tönende Schrift (Kluth). 2. Aufl. DM 1.90.

58 Morselehrgang (Diefenbach). 8. Aufl.

59 Funk-Entstörungs-Praxis (Mende). 4. Aufl.

60 Die Widerstand-Kondensator-Schaltung. Einführung in die RC-Schaltungstechnik (Schneider). 6. Aufl.

62/62a Englisch für Radio-Praktiker (Stellrecht/Miram). 4. Aufl.

66/67 Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure II. Teil (Steinhauser). 5. Aufl.

68/70 Formelsammlung für den Radio-Praktiker (Rose). 10. Aufl.

71 Bastelpraxis Band I. Allgemeine Arbeitspraxis (Diefenbach). 8. Aufl.

72/73 Drahtlose Fernsteuerung von Flugmodellen (Schultheiss). 5. Aufl.

74 Einkreis-Empfänger mit Röhren und Transistoren (Sutaner). 6. Aufl.

76 Bastelpraxis Band II. Theoretische und praktische Grundlagen (Diefenbach). 8. Aufl.

77/77a Der Selbstbau von Meßeinrichtungen für die Funkwerkstatt (Nieder). 6. Aufl.

79/79a Bastelpraxis Band III. Praktischer Aufbau von einfachen Prüfgeräten und Empfängern vom Detektor bis zum Super, dazu Verstärker, KW- und Zusatzgeräte (Diefenbach). 8. Aufl.

Netztransformatoren und Drosseln

Berechnung und Bau

Von

DR.-ING. PAUL E. KLEIN

Mit 62 Bildern und 71 Tabellen

3., ergänzte und erweiterte Auflage

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

Nr. 106/107a der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

Cellu-Band

1971

Franzis-Verlag G. Emil Mayer KG

Sämtliche Rechte – besonders das Übersetzungsrecht – an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Bilder, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

Druck: G. Franz'sche Buchdruckerei G. Emil Mayer, München 37, Karlstraße 35
Printed in Germany. Imprimé en Allemagne.

Vorwort

Es sind nahezu 15 Jahre vergangen, seit die Funkschau-Netztransformatorentabelle entworfen wurde. Sie entsprach seinerzeit einem großen Bedürfnis und ist nun schon seit vielen Jahren vergriffen. Da der Wunsch, diese Unterlagen in erweiterter Form als Buch zu besitzen, von vielen Seiten geäußert wurde, hat es der Verfasser übernommen, ein solches Buch auszuarbeiten. Die Herausgabe ist auch um so mehr gerechtfertigt, als auf diesem Gebiet zahlreiche neue Werkstoffe entwickelt wurden. Neue DIN-Normen und VDE-Vorschriften sind erschienen und müssen ausführlich behandelt werden, um die Herstellung einwandfreier Netztransformatoren und Drosseln zu ermöglichen.

Auf die Benutzung verwickelter Formeln wurde verzichtet, jedoch sind einfache Rechnungen unerläßlich. Eine Reihe von Beispielen ermöglicht den Nachbau von Transformatoren und Drosseln.

Der Verfasser hofft, daß das Buch die gleiche freundliche Aufnahme bei den Lesern findet wie die vorangegangenen Tabellen. Er dankt dem Verlag für die bei ihm übliche sorgfältige Ausführung von Druck und Zeichnungen.

Tettnang Dr.-Ing. Paul E. Klein

Vorwort zur zweiten Auflage

In etwa zwei Jahren nach dem Erscheinen war die erste Auflage dieses Buches vergriffen. Zahlreiche zustimmende Zuschriften brachten keine Änderungswünsche, so daß die zweite Auflage nahezu unverändert bleiben konnte.

Über Tränklacke wurde eine Tabelle eingefügt, die besonders zu beachten ist, weil die falsche Wahl des Tränklacks unter Umständen Schaden anrichtet, wenn er sich mit dem Lack des gewählten Lackdrahtes nicht verträgt. Eine weitere Tabelle wurde für genormte Isolationsklassen und die dabei zu verwendenden Werkstoffe beigefügt.

Da Normen und VDE-Vorschriften laufend neu bearbeitet werden, ist im Zweifelsfall immer die neueste Ausgabe der Normen bzw. Vorschriften hinzuzuziehen.

Tettnang Dr.-Ing. Paul E. Klein

Vorwort zur dritten Auflage

Eine Reihe neuer Normen zwang zu einer Vervollständigung und Erweiterung des Inhalts. Bei dieser Gelegenheit wurden diejenigen Teile aus dem Anhang in die entsprechenden Kapitel übernommen, die seinerzeit, bei der 2. Auflage, erst kurz vor Fertigstellung zur Verfügung standen. Das betrifft vor allem die Schnittbandkerne und das für Transformatoren erforderliche Zubehör.

Tettnang Dr.-Ing. Paul E. Klein

Inhalt

Seite

DIN-Normen und VDE-Vorschriften 7
1.1 Schaltzeichen 7
1.2 Kennzeichnende Daten von Kernen 8
1.3 Blechschnitte 8
1.4 Ferromagnetische Eigenschaften 15
1.5 Spulenkörper 17
1.6 Zubehörteile 17
1.7 Raumbedarfsmaße 17
1.8 Wickelmaterial 20
1.9 Isoliermaterial 21
1.10 VDE-Vorschriften für Kleintransformatoren 21
2 Bestandteile und Aufbau von Netztransformatoren und Drosseln 23
2.1 Kernbleche und Kerne 23
2.1.1 Blechschnitte 23
2.1.2 Blechpakete 25
2.2 Spulenkörper 39
2.3 Wicklungen 44
2.4 Zubehörteile 45
2.5 Raumbedarfsmaße 46
2.6 Wickeldraht 51
2.7 Isoliermaterial 54
2.8 Befestigung und Spannungszuführung 58
2.9 Magnetische Abschirmung (Streufeldvermeidung) . . . 60
2.10 Tränklacke 62
3 Berechnung von Netztransformatoren 64
3.1 Allgemeines 64
3.2 Aufgabenstellung 64
3.3 Leistung 67
3.3.1 Netztransformatoren mit isolierten Sekundärwicklungen 67
3.3.2 Verluste bei Transformatoren mit isolierten Sekundärwicklungen 68
3.3.3 Sekundärleistung von Netzspartransformatoren . . 70
3.3.4 Leistungsaufnahme von Netzspartransformatoren . 71
3.4 Erforderliche Eisenmenge 74
3.5 Auswahl der Bleche und Blechpakete 74
3.6 Berechnung des Stromes 76
3.6.1 Primärstrom 76
3.6.2 Sekundärstrom 78
3.7 Windungszahl je Volt 79
3.8 Windungszahlen 80

3.9 Drahtstärke 82
3.10 Wicklungs- und Lagenisolation 85
3.11 Kontrollrechnung 89
3.12 Zusammenfassung der errechneten Werte für Netztransformatoren 91
4 Berechnung von Netzdrosseln 93
4.1 Allgemeines 93
4.2 Geforderte Daten 96
4.3 Drahtstärke 96
4.4 Wahl des Blechpaketes 96
4.5 Windungszahl 98
4.6 Widerstand 100
4.7 Berechnung der Induktivität 101
4.8 Darstellung der magnetischen Induktion als Funktion der Gesamtamperewindungszahl 104
4.9 Gesamt-Rechnungsgang 105
5 Bauvorschriften für einige Anwendungen 110
5.1 Netztransformator für Hochspannungsnetzteil 110
5.2 Transformator für Heiz- und Anodenspannungsnetzteil . 110
5.3 Transformator für röhrenstabilisierten Netzteil 110
5.4 Transformator für transistorgeregeltes Netzgerät 116
5.5 Netzdrossel 116
5.6 Transformator für 400 Hz 116
6 Prüfung von Netztransformatoren 117
6.1 Isolationsprüfung 117
6.2 Durchgangsprüfung 117
6.3 Leerlaufstrom 117
6.4 Betriebsprüfung 118
6.5 Prüfung auf Spannungsfestigkeit 118
6.6 Spannungs-Strom-Kennlinie 119
7 Anhang 121
7.1 Formelzeichen 121
7.2 Größen und Einheiten 121
7.3 Transformatoren für Gleich-Wechselspannungs-Umsetzer 126
7.3.1 Allgemeines 126
7.3.2 Berechnung von Transformatoren für Umsetzer . . 128
7.3.3 Beispiele für Rechnungsgang und Muster 132
7.4 Kennzeichnung von Anschlüssen und Leitungen 136
7.5 Genormte Isolationsklassen und zugehörige Werkstoffe . 139
7.6 Herstellerverzeichnis 140
7.7 Literatur 141
Sachverzeichnis 142

1 DIN-Normen und VDE-Vorschriften

Die Beachtung der DIN-Normen und VDE-Vorschriften ist bei der Herstellung von Netztransformatoren und Drosseln unerläßlich. Daneben muß beachtet werden, daß die IEC (Internationale Elektrotechnische Commission) Vorschriften herausgibt, die internationale Gültigkeit haben. Auf die Dauer werden sich die deutschen Normen, die im Fachnormenausschuß Elektrotechnik (FNE) bearbeitet werden, und die deutschen VDE-Vorschriften, die im VDE bearbeitet werden, sehr stark nach den internationalen Ausarbeitungen richten müssen.

Es ist nicht möglich, an dieser Stelle alle Normen und Vorschriften zu bringen, die in diesem Zusammenhang interessant sind. Die wichtigsten sollen nachstehend kurz behandelt werden.

1.1 Schaltzeichen

Die gesamten Schaltzeichen der Elektrotechnik, vor allem die der Bauelemente für elektrische und elektronische Geräte, werden in der Norm DIN 40 700 behandelt. Nach dieser Norm ist für den Netztransformator das in **Bild 1** dargestellte Symbol zu verwenden. Es hat sich trotz der für die einzelnen Wicklungen gezeichneten dicken Striche im allgemeinen gut durchgesetzt. Da es sich bei Netztransformatoren um Eisenkerne aus zusammenhängendem Blech handelt, werden sie als durchgehende Linie gezeichnet. Für die Drossel gilt entsprechend das Symbol nach **Bild 2.**

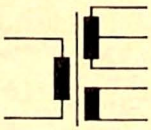


Bild 1 Symbol für Netztransformatoren nach DIN 40 700

Bild 2 Symbol für Netzdrosseln nach DIN 40 700

1.2 Kennzeichnende Daten von Kernen

In den im Oktober 1967 im Entwurf vorliegenden Normen DIN 41 300 Blatt 1 bis 3 sind erstmalig in sehr übersichtlicher Form die kennzeichnenden Daten der verschiedensten modernen Kerne für Kleintransformatoren, Übertrager und Drosseln zusammengestellt.

Blatt 1: M-, EI-, SM- und SE-Kerne (EI abfallarm)

Blatt 2: EI-, SE-Kerne (EI abfallos)

Blatt 3: UI-, SU-Kerne (abfallos)

Die Tabellen sind jeweils auf die mechanischen Abmessungen und auf die elektrischen Daten aufgeteilt. Da das Material sehr umfangreich ist, muß auf die jeweils neueste Ausgabe der DIN-Blätter hingewiesen werden[1]). Nachstehend sind auszugsweise einige wichtige Angaben zusammengestellt.

Tabelle 1 nennt einige mechanische Daten für M-, EI- SM- und SE-Kerne.

Tabelle 2 nennt die entnehmbare Sekundärleistung für Kerne der oben genannten Art aus Blech III 2,3 DIN 46400; Blech IV 1,3 DIN 46400, aus kornorientiertem Siliziumblech 0,35 mm dick und für SM- und SE-Kerne aus Schnittbandkernen von 0,35 mm Dicke.

Tabelle 3 bringt die mechanischen Daten für EI- und SE-Kerne (EI, abfallos), **Tabelle 4** enthält die Sekundärleistung für die drei Blechsorten.

Schließlich werden mechanische Daten für UI- und SE-Kerne (abfallos) in **Tabelle 5** und die Leistungswerte in **Tabelle 6** gebracht.

1.3 Blechschnitte

Die Abmessungen der Kernbleche für Kleintransformatoren, Übertrager und Drosseln sind in DIN 41 302 festgelegt. Es gibt

---

[1]) Zu beziehen durch den Beuth-Vertrieb, Berlin und Köln

Mechanische Daten für M-, EI-, SM- und SE-Kerne

	M-, EI-, SM-, SE-Kerne				M-, EI-Kerne					SM-, SE-Kerne		
Typ	Höhe h_a cm	Breite b_a cm	Kupfer-querschnitte Q_{Cu_n} cm²	Mittlere Windungslänge l_m cm	Zungenbreite f cm	Pakethöhe h_p cm	Eisenquerschnitt q_{Fe} cm	Eisenweglänge l_{Fe} cm	Eisengewicht m_{Fe} kg	Eisenquerschnitt q_{Fe} cm²	Eisenweglänge l_{Fe} cm	Eisengewicht m_{Fe} kg
M 42	0,67	2,61	0,4	8,7	1,2	1,46	1,52	10,2	0,119	1,44	9,8	0,108
M 55	0,81	3,31	0,85	11,3	1,7	2,06	3,09	13,1	0,31	2,92	12,4	0,276
M 65	1,01	3,86	1,35	13,8	2	2,67	4,7	15,5	0,56	4,48	14,6	0,5
M 74	1,16	4,46	1,95	16	2,3	3,24	6,6	17,6	0,89	6,3	16,5	0,79
M 85 a	1,09	4,85	2,1	17	2,9	3,19	8,2	19,7	1,24	8	18,3	1,12
b				19,6		4,49	11,5	19,7	1,73	11,3		1,59
M 102 a	1,03	6,05	3,3	19,7	3,4	3,49	10,5	23,8	1,91	10,4	22,2	1,77
b				23,2		5,24	15,8	23,8	2,88	15,6		2,64
EI 92 a	2,02	4,66	3,7	16,8	2,3	2,29	4,65	19,4	0,69			
b				18,6		3,19	6,48	19,4	0,96			
EI 106 a	2,06	5,15	4,5	20,5	2,9	3,19	8,2	21,8	1,37			
b				23,1		4,49	11,5	21,8	1,92			
EI 130 a	2,59	6,45	7,6	24,2	3,5	3,61	11,2	27	2,31	11,3	25,9	2,24
b				26,2		4,61	14,2	27	2,93	14,4		2,86
EI 150 a	2,98	7,01	9,8	28,1	4	4,01	14,2	31	3,37	14,4	29,7	3,26
b				30,1		5,01	17,7	31	4,2	18		4,08
c				32,1		6,01	21,3	31	5,1	21,6		4,91
EI 170 a	3,37	8,51	14	33,8	4,5	5,45	21,7	36	6	21,8	34,7	5,8
b				35,8		6,45	25,7	36	7,1	25,8		6,8
c				37,8		7,45	29,7	36	8,2	29,8		7,9
EI 195 a	3,57	11,51	20,5	36,8	5,5	5,55	26,9	44,5	9,2	27,6	42,9	9,1
b				39,4		6,85	33,2	44,5	11,3	34		11,2
c				42,4		8,35	40,5	44,5	13,8	41,6		13,7
EI 231 a	4,23	12,97	29	42,3	6,5	6,25	35,8	51,9	14,2	36,4	49,9	13,9
b				45,5		7,85	44,9	51,9	17,8	45,8		17,3
c				49,3		9,75	56	51,9	22,2	57		21,8

Tabelle 2
Sekundärleistung für M-, EI-(abfallarm,) SM-, SE-Kerne

Typ	M-, EI-Kern III 2,3	M-, EI-Kern IV 1,3	M-, EI-Kern Kornor.Si 0,35 mm	SM-, SE-Kern Schnittb. 0,35 mm
M 42	3,8	3,9	4,7	5,3
M 55	15,4	16,3	19,2	21,1
M 65	29,1	31,1	41,5	45,7
M 74	60	65	76	84
M 85 a	79	87	102	115
b	106	117	139	159
M 102 a	139	154	182	206
b	193	218	260	300
EI 92 a	70	75	87	—
b	95	102	119	—
EI 106 a	139	151	175	—
b	184	203	238	—
EI 130 a	269	297	346	387
b	327	366	429	484
EI 150 a	408	453	530	590
b	485	550	640	720
c	560	640	750	860
EI 170 a	750	860	1010	1130
b	850	980	1170	1308
c	950	1110	1320	1490
EI 195 a	1210	1400	1660	1890
b	1400	1650	1970	2250
c	1610	1920	2330	2690
EI 231 a	1870	2220	2670	3000
b	2190	2620	3200	3710
c	2520	3050	3790	4400

. Alle Werte in W

Tabelle 3

Mechanische Daten für EI- und SE-Kerne

	EI-, SE-Kerne				EI-Kerne					SE-Kerne		
	Höhe	Breite	Kupfer-querschnitt	Mittlere Windungslänge	Zungenbreite	Pakethöhe	Eisenquerschnitt	Eisenweglänge	Eisengewicht Dyn III, IV kornorientiert Blech	Eisenquerschnitt	Eisenweglänge	Eisengewicht
Typ	h_a cm	b_a cm	Q_{Cu_n} cm²	l_m cm	f cm	h_p cm	q_{Fe} cm²	l_{Fe} cm	m_{Fe} kg	q_{Fe} cm²	l_{Fe} cm	m_{Fe} kg
EI 42	0,51	1,86	0,2	8,2	1,4	1,37	1,67	8,4	0,107			
EI 48	0,6	2,16	0,32	9,3	1,6	1,57	2,21	9,6	0,162			
EI 54	0,68	2,42	0,46	10,5	1,8	1,77	2,81	10,8	0,232			
EI 60	0,77	2,67	0,62	11,7	2	1,99	3,52	12	0,323			
EI 66 a	0,87	2,88	0,8	12,8	2,2	2,19	4,24	13,2	0,428			
b				15,1		3,35	6,5		0,66			
EI 78	1,07	3,46	1,35	15,1	2,6	2,64	6,1	15,6	0,73			
EI 84 a	1,27	3,76	1,67	16,2	2,8	2,79	6,9	16,8	0,89			
b				19		4,19	10,4		1,34			
EI 96 a	1,35	4,35	2,4	18,8	3,2	3,4	9,6	19,2	1,41			
b				20,8		4,4	12,5		1,84			
c				23,6		5,8	16,4		2,41			
EI 120 a	1,62	5,45	3,9	22,9	4	4	14,2		2,61			
b				25,3		5,2	18,4	24	3,38			
c				29,3		7,2	25,5		4,68			
EI 150Na	1,98	6,79	5,9	28,5	5	4,79	21,3		4,89			
b				31,9		6,49	28,8	30	6,7			
c				37,1		9,09	40,4		9,3			

Nicht ausgefüllte Fächer zur Zeit der Drucklegung nach DIN noch nicht bekannt.

Tabelle 4
Sekundärleistung für EI-Kerne (abfallos)

Typ	EI (abfallos) III 2,3	EI (abfallos) IV 1,3	EI (abfallos) Kornorientiert Si 0,35
EI 42	2,4	2,5	3,1
EI 48	5,1	5,4	6,4
EI 54	9	9,4	11,2
EI 60	14	15	17,8
EI 65 a	21	22	22,2
b	31	33	39,7
EI 78	44	47	56
EI 84 a	58	63	73
b	82	90	107
EI 96 a	100	110	131
b	125	140	166
c	160	177	243
EI 120 a	200	220	273
b	250	285	342
c	320	370	450
EI 150 a	400	455	540
b	500	580	700
c	630	740	910

Alle Werte in W

Tabelle 5

Mechanische Daten für UI- und SU-Kerne

	UI-, SU-Kerne				UI-Kerne					SU-Kerne		
	Höhe	Breite	Kupfer quer-schnitt	Mittlere Windungs-länge	Schenkel-breite	Paket-höhe	Eisen-quer schnitt	Eisen-weg-länge	Eisen-gewicht	Eisen-quer-schnitt	Eisen-weg-länge	Eisen-gewicht
Typ	h_a cm	b_a cm	Q_{Cu_n} cm²	l_m cm	c cm	h_p cm	q_{Fe} cm²	l_{Fe} cm	m_{Fe} kg	q_{Fe} cm²	l_{Fe} cm	m_{Fe} kg
UI 30 a	0,35	2,85	0,4	5,8	1	1,05	0,92	12	0,084	0,82	11,4	0,072
b				7		1,65	1,44		0,132	1,34		0,117
UI 39 a	0,47	3,75	0,85	7,5	1,3	1,38	1,58	15,6	0,189	1,43	14,8	0,162
b				9		2,08	2,39		0,286	2,24		0,253
UI 48 a	0,59	4,56	1,5	9,4	1,6	1,59	2,24	19,2	0,329	2,19	18,1	0,303
b				11,2		2,49	3,51		0,52	3,47		0,481
UI 60 a	0,77	5,66	3	11,7	2,0	1,99	3,53	24	0,65	3,5	22,6	0,61
b				13,7		2,99	5,3		0,97	5,3		0,92
UI 75 a	0,96	7,05	5,3	14,8	2,5	2,49	5,5	30	1,26	5,6	28,2	1,21
b				17,8		3,99	8,9		2,04	9		1,94
UI 90 a	1,16	8,55	8,3	17,4	3,0	2,99	7,9	36	2,18	8	34	2,08
b				21,4		4,99	13,2		3,64	13,4		3,49
UI 102 a	1,29	9,54	11	20,1	3,4	3,38	10,2	40,8	3,18	10,5	38,4	3,09
b				24,3		5,48	16,5		5,1	17		4,99
UI 114 a	1,49	10,74	15	22,3	3,8	3,78	12,6	45,6	4,4	12,9	42,8	4,23
b				27,1		6,18	20,8		7,3	21,2		7
UI 132 a	1,74	12,54	21	25,5	4,4	4,38	17	52,8	6,9	17,4	49,5	6,6
b				30,7		6,98	27,1		10,9	27,7		10,5
UI 150 a	1,91	14,12	26	29,3	5,0	4,98	22,1	60	10,1	22,5	56	9,7
b				34,3		7,48	33,2		15,2	33,9		14,6
UI 168 a	2,21	15,92	35	32,6	5,6	5,58	27,9	67,2	14,3	28,1	63	13,5
b				39,4		8,98	44,9		23,1	45,4		21,9
UI 180 a	2,28	16,91	39	35,6	6,0	5,98	32	72	17,6	33	68	17,1
b				38,6		7,48	40		22	41,3		21,4
c				41,6		8,98	48,1		26,5	49,5		25,6
UI 210 a	2,77	19,9	56	41,1	7,0	6,98	43,4	84	27,9	44,6	79	26,9
b				47,1		9,98	62		39,8	64		38,5
c				53		12,98	81		52	83		49,7

Tabelle 6
Sekundärleistung für UI-Kerne (abfallos) und SU-Kerne

Typ	UI-Kerne (abfallos) III 2,3	UI-Kerne (abfallos) IV 1,3	UI-Kerne (abfallos) Kornorientiert Si 0,35 mm	SU-Kerne Schnittb. 0,35 mm
UI 30 a	2,61	2,67	3,31	3,33
b	4,65	4,78	5,8	6,3
UI 39 a	10	10,3	12,2	12,4
b	15,3	15,8	18,6	20
UI 48 a	22,7	23,5	27,5	30,5
b	35,5	37	43,1	48,6
UI 60 a	62	64	75	82
b	90	94	109	122
UI 75 a	146	153	178	200
b	218	234	272	306
UI 90 a	281	299	348	387
b	438	478	560	630
UI 114 a	650	700	820	920
b	960	1080	1280	1440
UI 132 a	1080	1200	1410	1580
b	1530	1760	2090	2370
UI 150 b	2140	2480	2980	3380
UI 180 a	2920	3370	4020	4560
c	3820	4550	5550	6400
UI 210 a	4820	5700	6900	7800
b	6000	7300	9000	10500
c	7100	8700	10900	12900

Alle Werte in W

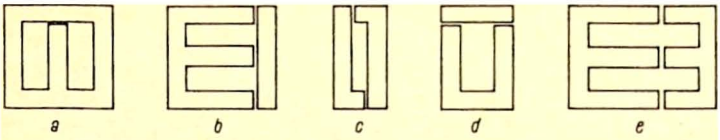


Bild 3 Formen gebräuchlicher Kernblechschnitte

mehrere Arten von Kernen, und zwar Kernbleche mit M-Schnitt, ferner solche mit EI-, L-, UI-, EE- und E, ED-Schnitt[1]).

Bild 3 zeigt die gebräuchlichen Formen, die je nach Aufgabe gewählt werden müssen. Am meisten dürften bisher M-Kerne verwendet worden sein. In der Fertigung haben sie den Nachteil, daß beim sogenannten Stopfen viel Zeit gebraucht wird.

1.4 Ferromagnetische Eigenschaften

Die magnetischen Werkstoffe für Übertrager sind in dem Normenblatt DIN 41301 (Juli 1967) festgehalten. Die Sorte wird durch einen großen Buchstaben A ... F und eine nachfolgende arabische Ziffer gekennzeichnet. **Tabelle 7** gibt einen Ausschnitt der magnetischen Eigenschaften aus dem genannten DIN-Blatt.

Warmgewalzte Elektrobleche, sogenannte Dynamobleche, werden in dem Normenblatt DIN 46400 behandelt. Diese Bleche kommen vorzugsweise als Kernbleche für Kleintransformatoren, Übertrager und Drosseln in Betracht. In den technischen Lieferbedingungen für Kernbleche nach DIN 41302, Bl. 2, vom Oktober 1967, werden die Forderungen für die magnetischen Eigenschaften zusammengestellt.

Bei der Festlegung der spezifischen Verluste wird die Abhängigkeit dieser Werte von Schnittform und Schnittgröße vernachlässigt. Im Interesse eines einheitlichen Rechenverfahrens wurden die ungünstigsten Werte eingesetzt. Aus dem gleichen Grund wird mit einer mittleren Dichte von 7,65 kg/dm³ gerechnet.

---

1) DIN 41 302, Blatt 1, Entwurf Oktober 1966, Maße
DIN 41 302, Blatt 2, Entwurf Oktober 1967, Technische Lieferbedingungen
DIN 41 302, Blatt 11, Entwurf November 1968, Ergänzung Bl. 1

Tabelle 7
Eigenschaften der Werkstoffe für Übertrager (nach DIN 41301)
Juli 1967

Werkstoffsorte		Chemische Zusammensetzung	Farbkennzeichnung Farbe	Zahl der Farbstriche	Dichte kg/dm³	Spezifischer elektrischer Widerstand $\frac{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Statische Koerzitiv Feldstärke A/m	Sättigungs-Induktion T
Kurzname	Nr.							
A 0	1.3850	Stahl	—	—	7,7	0,40	100	2,03
A 2	1.3852	2,5 bis	hellgrün	2	7,63	0,55	60	2,0
A 3	1.3853	4,5 % Si	hellgrün	3	7,57	0,68	35	1,92
C 2	1.3856	Stahl	weiß/schw.	je 1	7,55	0,5	30	2,0
C 5	1.3859	3,5 bis 4,5 % Si	weiß		7,56	0,45	15	2,0
D 1a	1.3915	36 bis	hellbl/ws	je 1	8,15	0,75	50	1,3
D 3	1.3916	4% Ni	hellbl/schw	je 1	8,15	0,75	15	1,3
E 3	2.4591	Ni-Fe-Leg. mit	hellrot	1	8,6	0,5	2	0,7 bis 0,8
E 4	2.4592	75% Ni + Div.	hellrot/ws	je 1	8,7	0,55	1	0,6 bis 0,8
F 3	1.3922	dto. mit 50% Ni	gelb/grün	je 1	8,25	0,45	10	1,5

Bei einer Frequenz von 50 Hz und annähernd sinusförmiger Induktion werden an Kernen mit wechselseitig geschichteten Blechen die spezifischen Ummagnetisierungsverluste nach **Tabelle 8** zugelassen. Die spezifische Blindleistung ist bei einem Luftspalt 0 ebenfalls unter diesen Bedingungen angegeben.

Die Blechsorte muß durch eine Farbe gekennzeichnet werden.

Tabelle 8
Daten verschiedener Blechsorten

Kernbleche aus Blechsorten DIN 46400		Blech-dichte mm	Flußdichte T	Spez. Ummagnetisg. Verluste W/kg	Spez. Blind-leistung VA/kg	Farbe
II/3,0		0,5	1,2	5,3	15	ohne
III/1,5		0,5	1,5	6,8	60	braun
IV/1,3		0,35	1,5	4	60	grau
IV/1,1		0,35	1,5	3,3	60	schwarz
	Si-Blech kornori-entiert	0,35	1,7	3,0	70	weiß

1.5 Spulenkörper

Die Spulenkörper für alle Arten von Transformatoren sind in einem umfangreichen Normenwerk festgelegt. **Tabelle 9** gibt einen Überblick über die entsprechenden Normenblätter.

1.6 Zubehörteile

Zubehörteile dienen vor allem zum Befestigen der fertigen Blechpakete einschließlich Spulenkörper. Die hierfür herausgegebenen Normen sind in **Tabelle 10** zusammengestellt.

1.7 Raumbedarfsmaße

Hier werden Raumbedarfs- und Montagemaße sowie Hinweise auf Kernbleche, Spulenkörper und Zubehörteile gegeben. Die Zusammenstellung der entsprechenden Normenblätter bringt **Tabelle 11.**

Tabelle 9
DIN-Normen für Spulenkörper (Stand Juli 1969)

DIN	Datum	Benennung	Bemerkung
41 303	E Sept. 1961	Spulenkörper für M-, EI-, L-, KI- und EE-Kerne (Hauptmaße)	
41 303, Bl. 10	E Okt. 1966	Spulenkörper für EE- und SG-Kerne (Hauptmaße)	Ergänzung zu 41 303
41 303, Bl. 11	E Nov. 1967	Spulenkörper für EI-Kerne (Hauptmaße)	dto.
41 304, Bl. 1	Jan. 1961	Spulenkörper in Schachtelbauweise für M-Kerne	
41 304, Bl. 2	Jan. 1961	Spulenkörper in Schachtelbauweise für EI-Kerne	
41 304, Bl. 3	Jan. 1961	Spulenkörper in Schachtelbauweise für M- und EI-Kerne (Einzelteile)	
41 304, Bl. 4	Jan. 1961	Spulenkörper in Schachtelbauweise für UI-Kerne	Zwei Spulenkörper je Kern
41 304, Bl. 5	Jan. 1961	Spulenkörper in Schachtelbauweise für UI-Kerne (Einzelteile)	Zwei Spulenkörper je Kern
41 304, Bl. 10	Nov. 1967	Spulenkörper in Schachtelbauweise für EI-Kerne	Ergänzung zu DIN 41 304, Bl. 2
41 304, Bl. 11	Nov. 1967	Spulenkörper in Schachtelbauweise für EI-Kerne (Einzelteile)	Ergänzung zu DIN 41 304, Bl. 3
41 305, Bl. 1	Apr. 1962	Spulenkörper in Formteilbauweise für M-Kerne	
41 305, Bl. 2	Apr. 1962	Spulenkörper in Formteilbauweise für EI- und UI-Kerne	
41 305, Bl. 3	Apr. 1962	Spulenkörper in Formteilbauweise für EE-Kerne	

E = Entwurf

Tabelle 10
DIN-Normen für Zubehörteile

DIN	Datum	Benennung	Bemerkung
41 307, Bl. 1	E Juli 1963	Befestigungsbügel für Typ EI	
41 307, Bl. 3	E Juli 1963	Laschen für Typ EI und UI	
41 307, Bl. 6	E Sept. 1967	Spannverschlüsse für Halterungen von Schnittbandkernen	
41 307, Bl. 7	E Okt. 1968	Fußplatten für Typ SM	Geringe mechanische Beanspruchung
41 307, Bl. 8	E Okt. 1968	Befestigungsrahmen für Typ SM	Erhöhte mechanische Beanspruchung
41 307, Bl. 9	E Okt. 1968	Befestigungsrahmen für Typ SE 130 bis 231	

E = Entwurf

Tabelle 11
DIN-Normen für Raumbedarfsmaße

DIN	Datum	Benennung	Bemerkung
41 308, Bl. 1	E Juli 1963	Raumbedarfsmaße für Typ M	
41 308, Bl. 2	E Juli 1963	Raumbedarfsmaße für Typ EI	
41 308, Bl. 3	E Juli 1963	Raumbedarfsmaße für Typ UI	
41 308, Bl. 7	E Okt. 1968	Raumbedarfsmaße für Typ SM	Geringe mechanische Beanspruchung
41 308, Bl. 8	E Okt. 1968	Raumbedarfsmaße für Typ SM	Erhöhte mechanische Beanspruchung
41 308, Bl. 9	E Okt. 1968	Raumbedarfsmaße für Typ SE 130 bis 231	

E = Entwurf

1.8 Wickelmaterial

Lackisolierte und doppelt lackisolierte Kupferrunddrähte sind in nahezu allen Fällen zu verwenden.

Bei der Anwendung von Kupferlackdraht für die Wicklungen der Transformatoren muß man sich ebenfalls nach den neuesten Normen richten. Maßgebend für die zukünftige Planung ist für den in der Regel verwendeten Kupfer-Runddraht mit Lackisolierung Entwurf DIN 46 435 [11].

Gegenüber den bisherigen Unterscheidungen durch die Anwendung hat man drei Arten von Lackisolierung für den Gebrauch festgelegt.

Typ V, dessen wesentliches Merkmal die Verzinnbarkeit ohne vorherige Entfernung der Lackschicht ist,
Typ N, der eine gute Widerstandsfähigkeit gegen Wärmeeinwirkungen hat, und
Typ W mit erhöhter Wärmebeständigkeit.

Wichtig ist also für die Beschaffung die Angabe der genormten Bestellzeichen, die enthalten:

1. Die Bezeichnung *Runddraht*,
2. Die Art der Isolierung, hier
   L für lackisolierten Draht,
   2 L für doppelt lackisolierten Draht,
3. den Drahtdurchmesser in mm,
4. Kurzzeichen der Drahttypen, nämlich V oder N oder W
5. Kurzzeichen für Zusatzforderungen nach DIN 46 435, Blatt 2, nämlich I für Isolationswiderstand,
   K für Kältemittelbeständigkeit,
   B für Backbarkeit,
6. Die Bezeichnung DIN 46 435.

Ein Kupferrunddraht, lackisoliert (L), vom Nenndurchmesser 0,09 mm Typ V ohne Zusatzforderungen heißt also
Runddraht L 0,09 V DIN 46 435.

Für Kupferrunddraht, nur oder außerdem ein- und mehrfach umsponnen, siehe DIN 46 436.

1.9 Isoliermaterial

Während der Kupferdraht durch Lack oder Umspinnung selbst isoliert ist, so daß gewissermaßen dadurch eine Windung gegen die benachbarten geschützt ist, müssen Lagen und Wicklungen weiterhin isoliert werden. In neuerer Zeit sind zahlreiche Isoliermaterialien auf den Markt gekommen, die sich in ihren Eigenschaften wesentlich voneinander unterscheiden. Für Lackpapier und Lackgewebe sind in den Normen DIN 40 622 und DIN 40 623 die technischen Eigenschaften festgelegt. Unterlagen für Kunstfolien sind nicht genannt. Ihre mechanischen Eigenschaften sind nach DIN 53 371 (Reißfestigkeit) bis DIN 53 374, DIN 53 472 (Wasseraufnahme), die elektrischen Daten, wie Durchschlagfestigkeit, nach VDE 0303 angegeben.

1.10 VDE-Vorschriften für Kleintransformatoren

Die Vorschriften für Kleintransformatoren, die für die Sicherheit der Anwender bestimmt sind, müssen unbedingt beobachtet werden. Nach dem heutigen Stande ist die Vorschrift VDE 0550 Teil 1 bis 6 zu beachten, deren Bedeutung in **Tabelle 12** zusammengestellt ist.

Wie man aus umstehender Tabelle erkennt, müssen für die Herstellung von Netztransformatoren und Drosseln nur einzelne Teile von VDE 0550 berücksichtigt werden. Wichtig sind in Teil 1 der Geltungsbereich, die Begriffsbestimmungen sowie der größte Teil der allgemeinen Bestimmungen. Zu beachten ist ferner Teil 3, wo auch auf die internationalen Vorschriften, nämlich CEE Publikation 1, IEC Publikation 63 hingewiesen wird, die sich auf Netzanschlußtransformatoren für Rundfunk- und Fernsehgeräte beziehen. Teil 4 befaßt sich mit Spartransformatoren, die bei Meßgeräten oft verwendet werden. Da hier keine galvanische Trennung vom Netz vorhanden ist, sind besondere Vorsichtsmaßnahmen erforderlich. Teil 5 ist für Drosselspulen zu beachten.

An dieser Stelle muß auf die richtige Anwendung einiger Begriffe für Transformatoren hingewiesen werden.

Schutztransformatoren sind Transformatoren, die eine Anlage oder ein Gerät mit einer höchsten Sekundärspannung von 42 V

versorgen, wobei eine sichere elektrische Trennung des Sekundärstromkreises vom Primärstromkreis gewährleistet ist.

Trenntransformatoren sind Transformatoren, die zum Betrieb eines einzelnen elektrischen Gerätes mit einer Betriebsspannung etwa in Höhe der Netzspannung dienen, um das Gerät im Sinne der Schutztrennung nach VDE 0100 elektrisch vom Netz zu trennen. Die Sekundärwicklung besitzt keine Verbindung zum Kern oder zur Erde. Die Isolation richtet sich nach der Summe der Spannungen von Primär- und Sekundärwicklung.

Isoliertransformatoren sind Transformatoren, die zur sicheren elektrischen Trennung zweier Stromkreise dienen. Auch hier besitzt die Sekundärwicklung keine Verbindung zum Kern oder zur Erde. Die Potentialdifferenz zwischen Primär- und Sekundärwicklung ist *nicht* durch deren Spannungen bestimmt. Sie ist meist höher.

Für Netztransformatoren von elektronischen Meßgeräten muß noch die VDE-Vorschrift 0411 beachtet werden, die auf die Ausführung des Transformators einen großen Einfluß hat (Schirmwicklung).

Tabelle 12
Vorschriften für Kleintransformatoren nach VDE 0550

Teil	Ausgabe	Inhalt
1	3. 1959	Allgemeine Vorschriften
2	3. 1959	Sondervorschriften für Schutz-, Spielzeug- und Klingeltransformatoren
3	3. 1961	Sondervorschriften für Trenn-, Isolier- und Netzanschlußtransformatoren sowie für sonstige Transformatoren mit getrennten Wicklungen
4	2. 1955	Sondervorschriften für Spartransformatoren
5	3. 1959	Sondervorschriften für Drosselspulen (Netzdrosselspulen, vormagnetisierte Drosselspulen und Funk-Entstördrosseln)
6	12. 1959	Sondervorschriften für Zündtransformatoren
6 b	3. 1961	Änderung zu Teil 6

2 Bestandteile und Aufbau von Netztransformatoren und Drosseln

Während im Abschnitt 1 auf die Normen und Vorschriften für die Transformatoren und Drosseln und ihre Bauteile hingewiesen wurde, sollen nachstehend konstruktive Einzelheiten, Abmessungen und Materialien behandelt werden.

2.1 Kernbleche und Kerne

2.1.1 Blechschnitte

Dank der Fortschritte in der Herstellung des Ausgangsmaterials und der Bleche ist die Zahl der zur Verfügung stehenden Kernbleche und Kerne in letzter Zeit wesentlich größer geworden. Nachstehende **Tabelle 13** gibt einen Überblick über den Stand Mitte 1969 für die Normblätter, die die Maße der Kernbleche festlegen, und die **Bilder 4 ... 8** und **Tabellen 15 ... 19**, in denen diese Daten auszugsweise gebracht werden.

Tabelle 13
Zusammenstellung von Normen über Abmessungen von Kernblechen

Typ	Benennung	Bild	Tabelle	Bemerkung
M20...102	Kernblech M-Schnitt	4	15	
EI 30...150	Kernblech EI-Schnitt	5	16	abfallos
EI 92...231	Kernblech EI-Schnitt	5	16	abfallos
L 59	Kernblech L-Schnitt	5	16	
UI 30...210	Kernblech UI-Schnitt	5	16	abfallos
EE 8...32	Kernblech EE-Schnitt	6	17	
E 8...32	Kernblech E-Schnitt	7	18	
ED 8...32	Kernblech ED-Schnitt	8	19	
SM 30...102	Schnittbandkern SM	13	20	
SE 130...231	Schnittbandkern SE	13	21	
SU 15...210	Schnittbandkern SU	13	22	
SG 27/6...165/51	Schnittbandkern SG	14	23	
S 3 U 30...210	Schnittbandkern S3U	15	24	

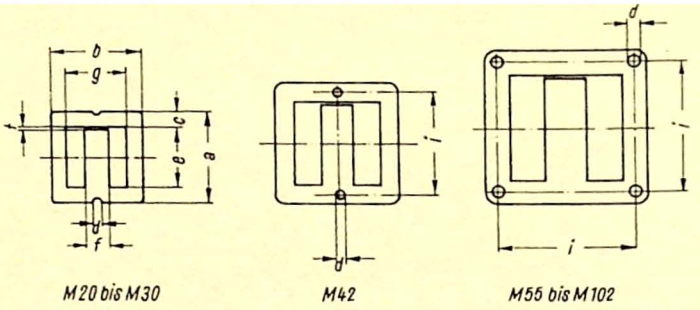


Bild 4 Abmessungen von Kernblechen mit M-Schnitt nach DIN 41302, Bl. 1

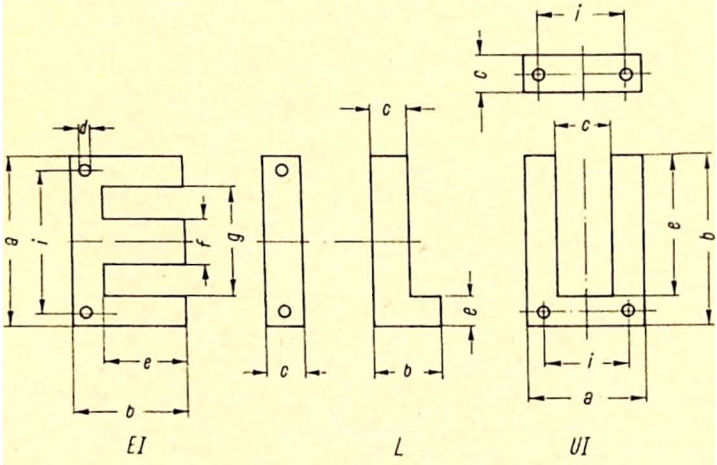


Bild 5 Abmessungen von Kernblechen mit EI-, L- und UI-Schnitt nach DIN 41302, Bl. 1

Abmessungen in den Tabellen in mm.

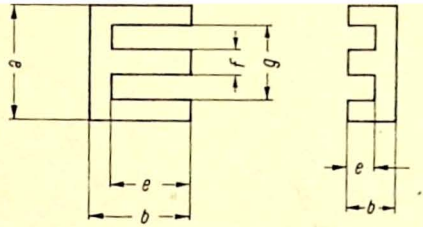


Bild 6 Abmessungen von Kernblechen mit EE-Schnitt nach DIN 41302, Bl. 1

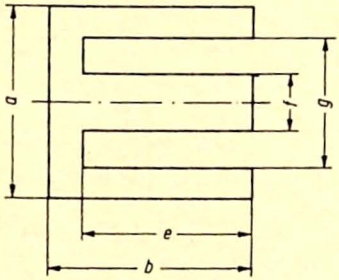


Bild 7 Abmessungen von Kernblechen mit Schnitt nach DIN 41302, Bl. 11

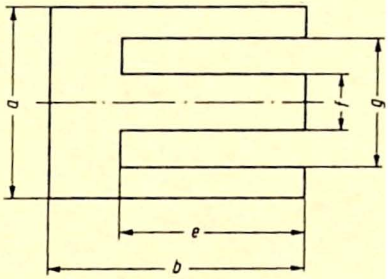


Bild 8 Abmessungen von Kernblechen mit ED-Schnitt nach DIN 41302, Bl. 11

In **Tabelle 13** sind sowohl geschichtete Kernbleche als auch Schnittbandkerne genannt. Für preiswerte Geräte werden für Transformatoren vorzugsweise Mantelkerne verwendet, die wegen des praktisch fehlenden Luftspaltes auch streuarm sind. Sie lassen sich aber nur sehr schwer und zeitraubend stopfen. Die am meisten angewandten Blechstärken sind 0,35 mm, seltener 0,5 mm. Für Netztransformatoren ist ein Luftspalt unerwünscht; bei durch Gleichstrom vormagnetisierten Drosseln ist der Luftspalt erforderlich, um einen starken Induktivitätsabfall bei Gleichstrombelastung zu vermeiden.

2.1.2 Blechpakete

Die einzelnen Kernbleche werden zu Blechpaketen geschichtet. Die Höhen der Blechpakete sind bereits im Abschnitt 1.2 zusammengestellt und in Normenblättern festgelegt. Wegen der

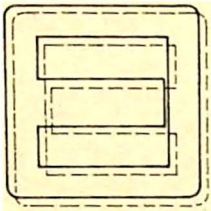


Bild 9 Wechselseitiges Schachteln von Blechen mit M-Schnitt

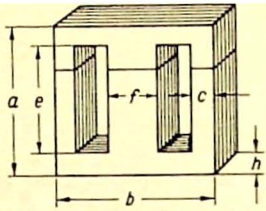


Bild 10 Geometrie der E-Kerne

$\frac{a}{100} : \frac{b}{100} : \frac{c}{15} : \frac{e}{70} : \frac{f}{30} : \frac{h}{30}$

Wirbelstromverluste werden keine massiven Kerne verwendet, sondern zu Kernen geschichtete, voneinander durch Oxydation, mittels aufgeklebten Papiers oder anderer Methoden isolierte Bleche benutzt. Der restlich durch die Herstellung unvermeidliche Luftspalt wurde bisher durch wechselseitiges Schachteln nach **Bild 9** praktisch unwirksam gemacht. Bei neueren Kernschnitten ist ein vielseitiges Schachteln nicht erforderlich. Die Bleche werden aufeinandergeklebt und die Stoßstellen abgeschliffen. Bei der Herstellung von Transformatoren tritt dadurch eine erhebliche Ersparnis ein.

Im Zuge der „Miniaturisierung" der Geräte mußte man sich auch Wege zur Verkleinerung der Abmessungen der Transformatoren überlegen. Hierzu dient die Einführung der EE-Typen-Reihe, die als Fortsetzung der M-Reihe nach unten (EE 32 bis EE 8) dient [14]. Hier hat sich die Verwendung hochpermeabler Werkstoffe an Stelle von Dynamoblechen als zweckmäßig erwiesen. Im Zusammenhang damit seien nochmals die geklebten Blechkerne erwähnt, die gleichmäßigere Daten gewährleisten. Interessant ist, daß die E-Typen-Reihe nach DIN 323, R 10 gestuft ist, so daß sich die Linearabmessungen um den Faktor $\sqrt[10]{10} = 1{,}26$, die Kernquerschnitte um den Faktor 1,6, die Rauminhalte um den Faktor 2 unterscheiden. Die Querschnitte der Mittelschenkel sind quadratisch. Das Verhältnis Kernquerschnitt zu Fensterquerschnitt beträgt 1,5 : 1. **Bild 10** zeigt die Kerngeometrie dieser Reihe. Besondere Spulenkörper sind für das geringe Einbauvolumen der Transformatoren nach **Bild 11** bemessen. Für die Kerne werden die EE-Bleche mit Kunstharz

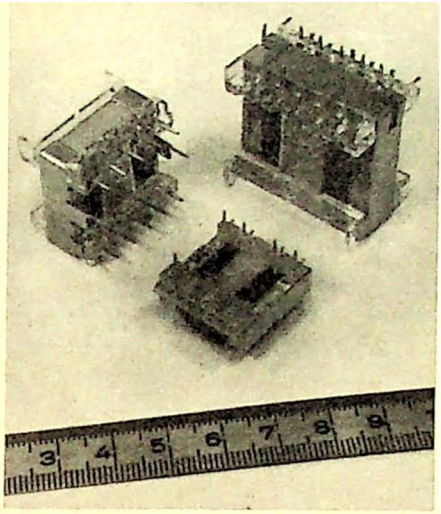


Bild 11 E-Kerne mit Spulenkörpern und Halterungen (Werkbild Vacuumschmelze)

verklebt, und alles wird unter Druck ausgehärtet. Dann erfolgt das Planschleifen, wobei wirksame Luftspalte unter 5 µm erreicht werden. In **Bild 12** sind einige Kerne mit geschliffenen Flächen und ein Kern mit freigeätzten Lamellen dargestellt. Auf Wunsch können auch Luftspalte zwischen 0,015 mm und 0,6 mm vorgesehen werden, wobei die Toleranz nur ± 5 µm beträgt.

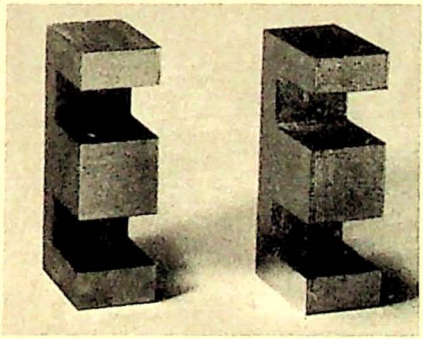


Bild 12 Stirnflächen von E-Kernen (Werkbild Vacuumschmelze)

Bei der Verwendung der höherwertigen Kern-Werkstoffe kommt man zu sehr hohen Betriebsinduktionen; so erhält man Scheitelwerte von 1,75 T bei kornorientierten Siliziumeisen (Vacuumschmelze = Trafoperm N2) und 1,95 T für 50%iges Kobalteisen (Vacuumschmelze = Vacoflex 48) [15]. Nachstehende **Tabelle 14** gibt einen Überblick über Kerndaten von Klein-Netztransformatoren mit den genannten Werkstoffen.

Tabelle 14
Kerndaten von Kleinst-Netztransformatoren mit Trafoperm N2 und Vacoflex 48

Typ	Werkstoff	Primär/ Sekundär-Spannung	Sekundär-Leistung	Einbau-Volumen	Einbaumaße (Grundfläche x Höhe)
		V/V	VA	cm³	mm x mm x mm
EK 25	Trafoperm N 2	110/12	0,7	13	26 × 28 × 18
EK 25	Vacoflux 48	110/12	1,0	13	26 × 28 × 18
EK 32	Trafoperm N 2	220/12	2,5	25	33 × 34 × 22
EK 32	Vacoflux 48	220/12	3,5	25	33 × 34 × 22
EK 40	Trafoperm N 2	220/12	9	50	41 × 42 × 28
EK 40	Vacoflux 48	220/12	11	50	41 × 42 × 28

Mit solchen E-Kernen kann man auch sehr günstig dimensionierte Kleinst-Transformatoren für eine Frequenz von 400 Hz herstellen (15).

Tabelle 15
Kernbleche mit M-Schnitten

Typ	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*i*	Luftspalt *t*					Blechdicken
M 20	20	20	3,5	2,8	13	5	13	—	—	0,3	—	—	—	bis 0,15
M 30	30	30	5	3	20	7	20	—	—	0,3	—	—	—	bis 0,15
M 42	42	42	6	3,5	30	12	30	36	0	0,3	0,5	1	—	bis 0,5
M 55	55	55	8,5	3,5	38	17	38	47	0	0,3	0,5	1	—	0,1 bis 0,5
M 65	65	65	10	4,5	45	20	45	56	0	—	0,5	1	—	0,1 bis 0,5
M 74	74	74	11,5	4,5	51	23	51	64	0	—	0,5	1	—	0,15 bis 0,5
M 85	85	85	14,5	4,5	56	29	56	75	0	—	0,5	1	2	0,35 und 0,5
M 102	102	102	17	5,5	68	34	68	91	0	—	0,5	1	2	0,35 und 0,5

Tabelle 16

Kernbleche mit EI-, L- und UI-Schnitten

Typ	Größe	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*[5])	*f*[5])	*g*[5])	*i*	Gebräuchliche Blechdicken
	30	30	20	5	—	15	10	20	—	0,1 bis 0,5
	38	38,4	25,6	6,4	—	19,2	12,8	25,6	—	
	42	42	28	7	3,5	21	14	28	35	
	48	48	32	8	3,5	24	16	32	40	
	54	54	36	9	3,5	27	18	36	45	
	60	60	40	10	3,5	30	20	40	50	
EI	66	66	44	11	4,5	33	22	44	55	
abfall-	75	75	50	12,5	4,5	37,5	25	50	62,5	
los	78	78	52	13	4,5	39	26	52	65	
	84	84	56	14	4,5	42	28	56	70	0,35
	96	96	64	16	5,5	48	32	64	80	und
	105	105	70	17,5	5,5	52,5	35	70	87,5	0,5
	108	108	72	18	5,5	54	36	72	90	
	120	120	80	20	7	60	40	80	100	
	135	135	90	22,5	8	67,5	45	90	112,5	
	150N	150	100	25	8	75	50	100	125	
	92	92	62,5	11,5	4,5	51	23	69	82	
EI	106	106	70,5	14,5	5,5	56	29	77	94	
abfall-	130	130	87,5	17,5	6,8	70	35	95	115	
arm	150	150	100	20	7,8	80	40	110	135	
	170	170	117,5	22,5	8	95	45	125	150	
	195	195	152,5	27,5	11	125	55	140	170	
	231	231	176,5	32,5	13	144	65	166	201	
L	59	59	13	5	2,8	9	—	—	50	0,35
	30	30	40	10	3,5	30	—	—	20	0,1 bis 0,5
	39	39	52	13	3,5	39	—	—	26	
	48	48	64	16	4,5	48	—	—	32	
	60	60	80	20	4,5	60	—	—	40	
	75	75	100	25	5,5	75	—	—	50	
UI	90	90	120	30	7,8	90	—	—	60	0,35
abfall-	102	102	136	34	7,8	102	—	—	68	und
los	114	114	152	38	11	114	—	—	76	0,5
	132	132	176	44	11	132	—	—	88	
	150	150	200	50	11	150	—	—	100	
	168	168	224	56	11	168	—	—	112	
	180	180	240	60	11	180	—	—	120	
	210	210	280	70	15	210	—	—	140	

Tabelle 17
Kernbleche mit EE-Schnitten

Typ	Einzelblech-bezeichnung	*a*	*b*	*e*	*f*	*g*	Gebräuch-liche Blechdicken
EE 8	E 8 × 2,5 E 8 × 5,5	8	2,5 5,5	1,3 4,3	2,4	5,6	
EE 10	E 10 × 3 E 10 × 7	10	3 7	1,5 5,5	4	7	
EE 12,6	E 12,6 × 4 E 12,6 × 8,6	12,6	4 8,6	2,1 6,7	3,8	8,8	0,1 0,2
EE 16	E 16 × 5 E 16 × 11	16	5 11	2,6 8,6	4,8	11,2	0,35
EE 20	E 20 × 6 E 20 × 14	20	6 14	3 11	6	14	
EE 25	E 25 × 8 E 25 × 17	25	8 17	4,2 13,2	7,6	17,4	
EE 32	E 32 × 10 E 32 × 22	32	10 22	5,2 17,2	9,8	22,4	

Tabelle 18
Kernbleche mit E-Schnitten

Typ	*a*	*b*	*e*	*f*	*g*	Gebräuchliche Blechdicke
E 8	8	8	6,8	2,4	5,6	
E 10	10	10	8,5	3	7	
E 12,6	12,6	12,6	10,7	3,8	8,8	0,1
E 16	16	16	13,6	4,8	11,2	0,2
E 20	20	20	17	6	14	0,35
E 25	25	25	21,2	7,6	17,4	
E 32	32	32	27,2	9,6	22,4	

Tabelle 19
Kernbleche mit ED-Schnitten

Typ	*a*	*b*	*e*	*f*	*g*	Gebräuchliche Blechdicke
ED 8	8	11	8,3	2,4	5,6	
ED 10	10	13	10	3	7	
ED 12,6	12,6	17	12,9	3,8	8,8	
ED 16	16	21	16,1	4,8	11,2	0,1
ED 20	20	26	20	6	14	0,2
ED 25	25	33	25,2	7,6	17,4	0,35
ED 32	32	42	32,2	9,6	22,4	

Die magnetische Streuung der Netztransformatoren macht beim Einbau in hochempfindliche Geräte oft große Schwierigkeiten. Auf die Möglichkeit der Abschirmung, mit der man dieser Schwierigkeit begegnen kann, wird an anderer Stelle eingegangen.

Besonders streuarm sind die Schnittbandkerne nach DIN 41 309. Sie erfordern bei der Montage eine völlig andere Konstruktion als Kernblech-Pakete. Dafür bieten sie neben der geringen Streuung auch geringeres Gewicht und kleine Abmessungen als Vorteil. Sie sind so dimensioniert, daß Spulenkörper nach DIN 41 303 bis 41 305 verwendet werden können.

Schnittbandkerne werden je Einzelkern mit Metallbändern zusammengespannt und nach ihrer Zusammengehörigkeit gekennzeichnet geliefert. Es sei noch besonders darauf hingewiesen, daß für Schnittbandkerne Betriebsinduktionen von 1,7 T

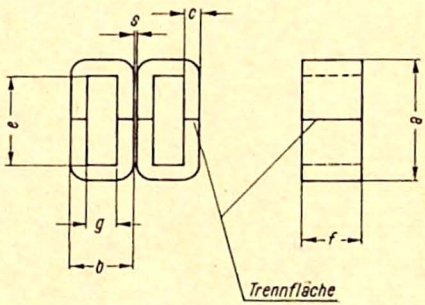


Bild 13 Abmessungen von Schnittbandkernen. SM, SE und SU (doppelt, wie dargestellt), SU nur einfach

bis 1,9 T im Kurzzeitbetrieb (z. B. für Schweißtransformatoren) zugelassen sind, um hierdurch an Gewicht und Abmessungen zu sparen.

Tabelle 20
Schnittbandkerne Typ SM

Typ	*a*	*b*	*c*	*e*	*f*	*g*	Gebräuchliche Blechdicke	Spulenkörper
SM 30 a/b	28,6	14,3	3,5	21,0	7,0 11,0	7,0	0,1	M 30 a/b
SM 42	43,6	21,8	6,0	31,0	15,2	9,5	9,5	M 42
SM 55	56,3	28,4	8,5	38,5	20,8	11,0		M 55
SM 65	65,6	33,2	9,9	45,0	27,0	13,0		M 65
SM 74	74,6	37,7	11,4	51,0	32,5	14,5	0,35	M 74
SM 85 a/b	85,6	43,2	14,4	56,0	32,5 45,5	14,0		M 85 a/b
SM 102 a/b	103,0	51,9	16,9	68,0	35,5 52,5	17,5		M 102 a/b

Abmessungen in mm.
Zugehörige Spulenkörper nach DIN 41 303, wobei in einem M-Spulenkörper zwei Schnittbandkerne eingebaut werden.

Tabelle 21
Schnittbandkerne Typ SE

Kurzzeichen	*a*	*b*	*c*	*e*	*f*	*g*	Höchste Blechdicke	Spulenkörper
SE 130 a	108,8	65,3	17,4	73	37,2	30,0	0,35	EI 130 a
b					47,2			b
SE 150 a	123,8	75,2	19,8	83	41,2	35,0	0,35	EI 150 a
b					51,2			b
c					61,2			c
SE 170 a	145,8	85,0	22,1	100	56,0	40,0	0,35	EI 170 a
b					66,0			b
c					76,0			c
SE 195 a	187,0	98,3	27,3	130	57,0	42,5	0,35	EI 195 a
b					70,0			b
c					85,0			c
SE 231 a	216,0	116,1	32,1	149	63,0	50,5	0,35	EI 231 a
b					79,0			b
c					98,0			c

Abmessungen in mm

Tabelle 22
Schnittbandkerne Typ SU

Typ	*a*	*b*	*c*	*e*	*f*	*g*	Gebräuchl. Blechdicken	Spulenkörper nach DIN 41 303
SU 15 a/b	28,7	15,0	4,9	18,5	5,4 8,4	5	0,2	—
SU 24 a/b	42,7	24,0	7,9	26,5	8,5 13,5	8		—
SU 30 a/b	52,7	30,0	9,9	32,5	10,1 16,1	10		UI 30 a/b
SU 39 a/b	67,9	39,1	12,9	41,5	13,4 20,4	13		UI 39 a/b
SU 48 a/b	82,9	48,0	15,8	50,5	16,5 25,5	16		UI 48 a/b
SU 60 a/b	103,6	60,1	19,8	63,0	20,6 30,6	20		UI 60 a/b
SU 75 a/b	128,6	75,0	24,7	78,0	26,1 41,1	25		UI 75 a/b
SU 90 a/b	155,8	90,0	29,6	95,0	30,9 50,9	30		UI 90 a/b
SU 102 a/b	175,4	102,4	33,7	106,0	35,4 56,4	34	0,35	UI 102 a/b
SU 114 a/b	195,6	114,4	37,6	118,0	39,2 63,2	38		UI 114 a/b
SU 132 a/b	225,4	132,1	43,4	136,0	45,2 71,2	44		UI 132 a/b
SU 150 a/b	255,6	150,2	49,4	154,0	51,2 76,2	50		UI 150 a/b
SU 168 a/b	286,0	168,3	55,3	172,0	57,0 91,0	56		UI 168 a/b
SU 180 a/b/c	307,2	181,3	59,7	184,0	62,0 77,0 92,0	60		UI 180 a/b/c
SU 210 a/b/c	357,2	211,2	69,6	214,0	71,7 101,7 131,7	70		UI 210 a/b/c

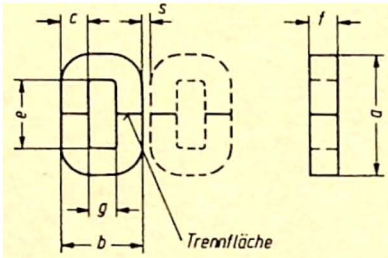


Bild 14
Abmessungen von Schnittbandkernen SG

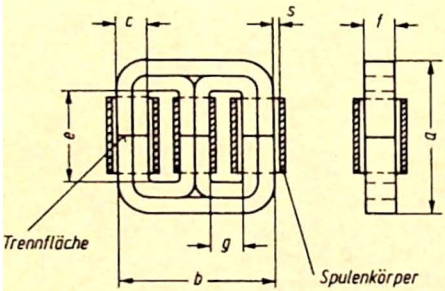


Bild 15
Abmessungen von Schnittband-kernen S3U

Neuere Schnittbandformen als Ergänzung zu den erwähnten gibt es in den Typenreihen SG (DIN 41 309, Bl. 10) und S 3 U (DIN 41 309, Bl. 11). Die **Bilder 14** und **15** zeigen die Bemaßung, die **Tabellen 23** und **24** geben die entsprechenden Werte.

Typ S 3 U enthält drei Spulenkörper und ist für Drehstromtransformation bestimmt.

Für Netztransformatoren, insbesondere mit Schnittbandkernen, ist auch das von der Vacuumschmelze AG lieferbare Kernmaterial Trafoperm N 2/OR 0,35 verwendbar. **Bild 16** zeigt ein Diagramm, das die übertragbare Leistung abhängig von Kerngewicht G_{Fe} angibt. Um Verwechslungen mit Schnittbandkernen anderer Legierung zu vermeiden, ist eine Farbcode von der Herstellerfirma zu erhalten. Die Kennzeichnung von Trafoperm N 2/OR erfolgt durch einen weißen Streifen [10].

Tabelle 23
Schnittbandkerne Typ SG

Typ	*a*	*b*	*c*	*e*	*f*	*g*	Gebräuchl. Blechdicken	zugehöriger Spulenkörper per DIN 41 303
SG 27/6	29,3	21,0	7,1	14,3	7,2	6,4	0,1	SG 27/6
SG 33/7	35,7	25,8	8,7	17,5	8,7	8,0		SG 33/7
SG 41/9	43,7	30,6	10,3	22,3	10,3	9,6		SG 41/9
SG 48/9	50,0	32,2	10,3	28,6	10,3	11,2		SG 48/9
SG 54/13					13,5			SG 54/13
SG 54/19	56,3	30,5	8,7	38,1	19,8	12,7		SG 54/19
SG 54/25					26,2			SG 54/25
SG 54/38					38,9			SG 54/38
SG 70/13					13,5			SG 70/13
SG 70/19	73,0	36,9	10,3	50,8	19,8	15,9	0,35	SG 70/19
SG 70/23					26,2			SG 70/23
SG 70/32					32,5			SG 70/32
SG 76/19					19,8			SG 76/19
SG 76/25	79,4	40,1	10,3	57,2	26,2	19,1		SG 76/25
SG 76/32					32,5			SG 76/32
SG 76/38					38,9			SG 76/38
SG 89/22					23,0			SG 89/22
SG 89/29	92,1	49,6	13,5	63,5	29,4	22,2		SG 89/29
SG 89/38					38,9			SG 89/38
SG 89/51					51,6			SG 89/51
SG 108/19					19,8			SG 108/19
SG 108/29	111,1	62,2	16,6	76,3	29,4	28,6		SG 108/29
SG 108/38					38,9			SG 108/38
SG 108/51					51,6			SG 108/51
SG 127/25					26,2			SG 127/25
SG 127/38	130,2	75,0	19,8	89,0	38,9	35,0		SG 127/38
SG 127/51					51,6			SG 127/51
SG 127/70					71,4			SG 127/70
SG 165/32	169,8	97,3	26,2	114,3	32,5	44,5		SG 165/32
SG 165/51					51,6			SG 165/51

In die Spulenkörper SG 27/6 bis SG 48/9 wird normalerweise ein, in alle anderen werden zwei Schnittbandkerne eingebaut.

Tabelle 24
Schnittbandkerne Typ S3U

Typ	*a*	*b*	*c*	*e*	*f*	*g*	Gebräuchl. Blechdicken	Zugehöriger Spulenkörper DIN 41 303
S3U 30 a/b	53,7	50,9	9,9	32,5	10,1 16,1	10		UI 30 a/b
S3U 39 a/b	70,9	66,0	12,9	41,5	13,4 20,4	13		UI 39 a/b
S3U 48 a/b	83,9	80,8	15,8	50,5	16,6 25,6	16		UI 48 a/b
S3U 60 a/b	104,6	100,9	19,8	63,0	20,6 30,6	20		UI 60 a/b
S3U 75 a/b	129,7	125,7	24,7	78,0	26,1 41,1	25		UI 75 a/b
S3U 90 a/b	156,8	150,6	29,6	95,0	30,9 50,9	30	0,3	UI 90 a/b
S3U 102 a/b	176,4	171,1	33,7	106,0	35,4 56,4	34	0,1	UI 102 a/b
S3U 114 a/b	196,2	191,0	37,6	118,0	39,2 63,2	38		UI 114 a/b
S3U 132 a/b	226,4	220,5	43,4	136,0	45,2 71,2	44		UI 132 a/b
S3U 150 a/b	255,6	249,6	49,4	154,0	51,2 76,2	50		UI 150 a/b
S3U 168 a/b	286,0	279,6	55,3	172,0	57,0 91,0	56		UI 168 a/b
S3U 180 a/b/c	307,2	301,0	59,7	184,0	62,0 77,0 92,0	60		UI 180 a/b/c
S3U 210 a/b/c	357,2	350,8	69,6	214,0	71,7 101,7 131,7	70		UI 210 a/b/c

In einen Dreiphasenkern werden 3 UI-Spulenkörper mit niedrigem Flansch eingebaut.

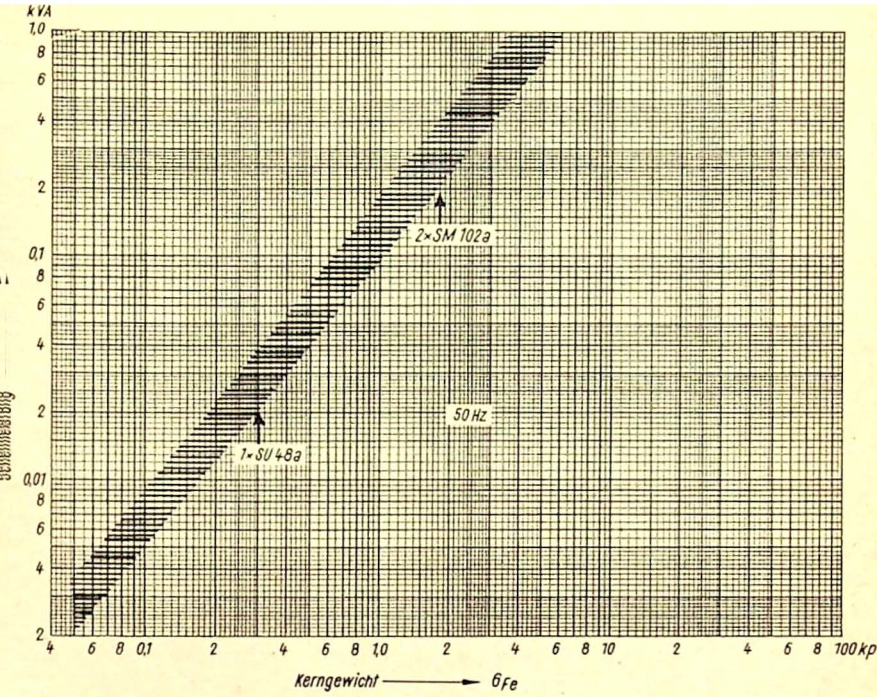


Bild 16 Übertragbare Leistung abhängig vom Kerngewicht für Trafoperm (Vacuumschmelze, Hanau)

Mit Schnittbandkernen ausgeführte Transformatoren zeigt **Bild 17.** Einige Ausführungsbeispiele von Schnittbandkernen zeigen die **Bilder 18** und **19.**

Man beachte die zur Montage erforderlichen Spannverschlüsse. In Veröffentlichungen [1, 4, 10] sind die Eigenschaften ausführlich behandelt.

Schließlich sei noch auf Bandkerne hingewiesen, die z. B. für maximal streuarme Netztransformatoren Bedeutung haben und auch für Stelltransformatoren verwendet werden. Die Nutzung der Werkstoffeigenschaften [12] der modernen kornorientierten Eisensiliziumwerkstoffe (z. B. Hyperm 5 T) ist dabei erforderlich.

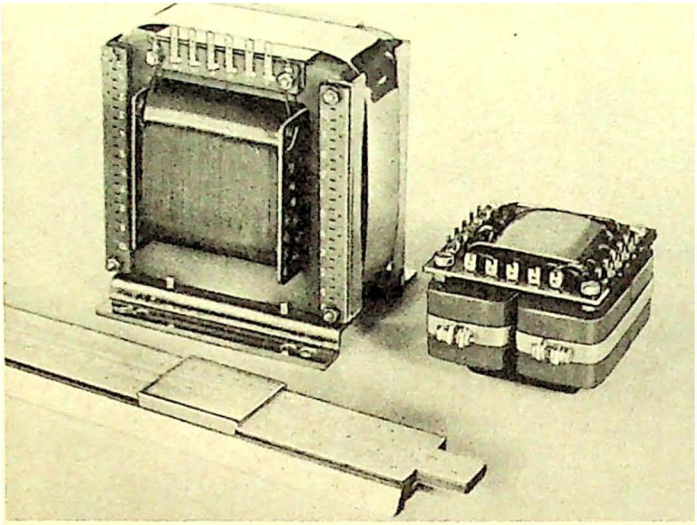


Bild 17 Mit Schnittbandkernen ausgerüstete Transformatoren (Vacuumschmelze)

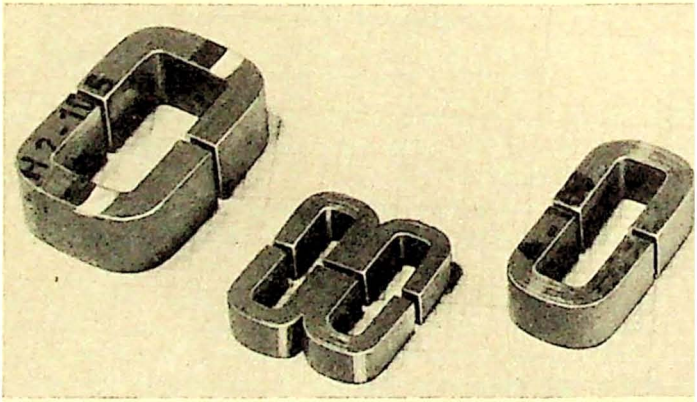


Bild 18 Einfache und doppelte Schnittbandkerne (Vacuumschmelze)

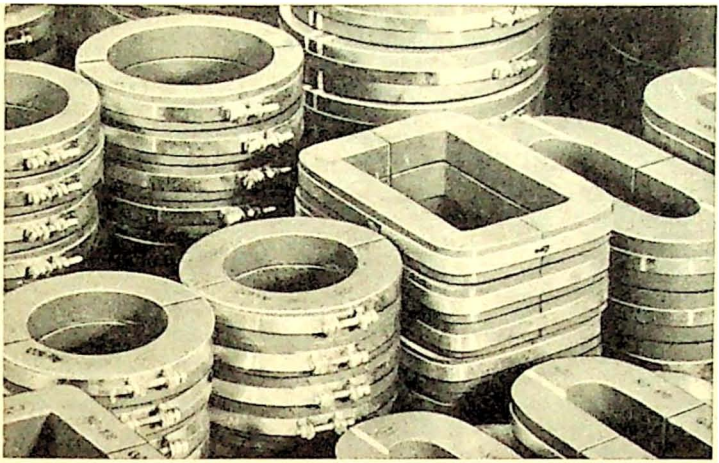


Bild 19 Ausführungsbeispiel für Schnittbandkerne (Vacuumschmelze)

2.2 Spulenkörper

Wie bei den Normen (vgl. Tabelle 9) erwähnt, gibt es mehrere Möglichkeiten für die Ausführung der Spulenkörper. Es sollen hier nur die Hauptmaße nach DIN 41 303 angegeben werden. Für die Spulenkörper in Schachtelbauweise sind auf DIN 41 303 und in Formteilbauweise auf DIN 41 305 hingewiesen.

Bild 20 zeigt die Hauptabmessungen von Spulenkörpern. **Tabelle 25** gibt die wichtigsten Maße für M-Kerne, **Tabelle 26** für EI-Kerne, **Tabelle 27** für L- und UI-Kerne, **Tabelle 28** für EE-Kerne und **Tabelle 29** für SG-Kerne wieder.

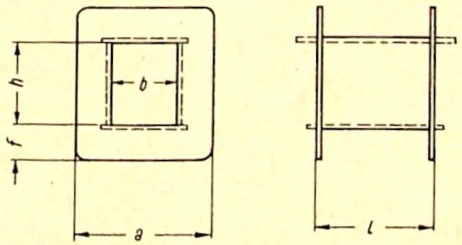


Bild 20 Hauptabmessungen der Spulenkörper nach DIN 41303

Tabelle 25
Spulenkörper für M-Schnitte

Typ		*a*	*b*	*f*	*h*	*l*
M 20		12,5	5,5	3,5	5,5	12
M 30	a	19	7,5	5,75	7,5	19
	b	19	7,5	5,75	11,3	19
M 42		29	12,6	8,1	15,7	28
M 55		37	17,6	9,6	21,7	35,5
M 65		44	20,6	11,6	27,8	42
M 74		50	23,6	13,1	33,5	48
M 85	a	54,6	29,6	12,4	33,5	52
	b	54,6	29,6	12,4	46,5	52
M 102	a	65	34,6	15,1	36,5	64
	b	65	34,6	15,1	54	64

Die Ausführungen a, b und c zeigen, daß mehrere Höhen genannt sind, die für verschiedene Kerndicken zugelassen sind.
Abmessungen in mm

Tabelle 26
Spulenkörper für EI-Schnitte

Typ		*a*	*b*	*h*	*l*
EI 30		19,5	10,5	10,5	14,5
EI 38		25,1	13,3	13,6	18,7
EI 42		27,2	14,5	14,8	20,5
EI 48		31,2	16,5	16,8	23,5
EI 54		35,2	18,5	18,8	26,5
EI 60		39,1	20,6	21	29
EI 66		43,1	22,6	34,7	32
EI 78		51,1	26,6	27,5	38
EI 84	a	55,1	28,6	29,5	41
	b			43,5	
EI 92	a	67,4	23,6	24,5	50
	b			33,5	
	a			35,7	
EI 96	b	62,4	32,6	45,7	47
	c			59,7	
EI 106	a	75,4	29,6	33,5	55
	b			46,5	
	a			41,7	
EI 120	b	77,5	40,8	53,7	59
	c			73,7	
EI 130	a	92	35,7	37,7	69
	b			47,7	
	a			41,7	
EI 150	b	107	40,7	51,7	79
	c			61,7	
	a			49,6	
EI 150 N	b	97	51	66,6	73,5
	c			92,6	
	a			56,7	
EI 170	b	121	45,7	66,7	94
	c			76,7	
	a			57,7	
EI 195	b	136	56,5	70,7	124
	c			85,7	
	a			64,7	
EI 231	b	159	66,5	80,7	143
	c			99,7	

Tabelle 27
Spulenkörper für L- und einige UI-Schnitte

Typ		a bei 2 Spulenkörpern	a bei 1 Spulenkörper	b	h	e
L 59	a	—	14	5,2	7,5	40
	b			5,2	10	
UI 30	a	19	29	10,6	10,5	29,5
	b			10,6	16,5	
UI 39	a	25	38	13,6	13,8	38,5
	b			13,6	20,8	
UI 48	a	31	47	16,6	17	47,5
	b			16,6	26	
UI 60	a	39	59	20,6	21	59
	b			20,6	31	
UI 75	a	49	74	25,6	26,5	74
	b			25,6	41,5	
UI 90	a	58	88	30,6	31,5	89
	b			30,6	41,5	
UI 102	a	66	100	34,8	36	100
	b			34,8	57	
UI 114	a	74	112	38,8	40	112
	b			38,8	64	

Tabelle 28
Spulenkörper für EE-Schnitte

Typ	a	b	h	l
EE 8	5,5	2,5	2,5	5,3
EE 10	6,9	3,1	3,1	6,7
EE 12,6	8,7	3,9	3,9	8,5
EE 16	11,1	4,9	4,9	10,9
EE 20	13,9	6,1	6,1	13,4
EE 25	17,3	7,7	7,7	16,8
EE 32	22,2	9,8	9,8	21,8

Tabelle 29
Spulenkörper für SG-Kerne

Typ	*a*	*b*	*h*	*l*	Kernzahl
SG 27/6	19,6	7,8	7,8	12,7	
SG 33/7	24,3	9,3	9,3	15,9	
SG 41/9	29,1	10,9	10,9	20,6	1
SG 48/9	32,3	10,9	10,9	27	
SG 54/13			14,1		
SG 54/19			20,4		
SG 54/25	43,2	18,8	26,8	36,5	
SG 54/38			39,5		
SG 70/13			14,1		
SG 70/19			20,4		
SG 70/25	52,8	22	26,8	49,2	
SG 70/32			33,1		
SG 76/19			20,4		
SG 76/25			26,8		
SG 76/32	59,2	22	33,1	54	2
SG 76/38			39,5		
SG 89/22			23,6		
SG 89/29			30		
SG 89/38	71,8	28,4	39,5	60,3	
SG 89/51			52,2		
SG 108/19			20,4		
SG 108/29			30		
SG 108/38	90,9	34,7	39,5	73	
SG 108/51			52,2		
SG 127/25			26,8		
SG 127/38			39,5		
SG 127/51	110,1	41,1	53,8	89,6	
SG 127/70			72,8		
SG 165/32	141,8	53,8	33,1	111	
SG 165/51			53,8		

2.3 Wicklungen

Netztransformatoren bestehen aus Primär- und Sekundärwicklungen. In der Regel werden die Primärwicklungen zuerst und nach ausreichender Isolation die Sekundärwicklungen gewickelt. Die Heizwicklungen für niedrige Spannungen sind meist als letzte aufgewickelt. Oft ist es erforderlich, zwischen Primär- und Sekundärwicklungen oder auch für einzelne Sekundärwicklungen eine *Abschirmung* vorzusehen. Auch diese Abschirmungen gelten als Wicklungen, werden jedoch nur einseitig herausgeführt. Sie können aus Kupferfolie oder aus Kupferdraht hergestellt werden. Diese Wicklungen müssen in jedem Fall *offen* bleiben, da sonst eine Kurzschlußwicklung entsteht, die erhebliche Verluste bringt.

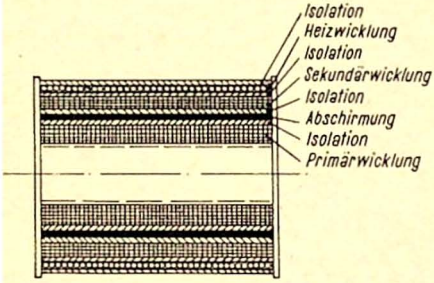


Bild 21
Aufbringung von Wicklungen auf Netztransformatoren

Man achte darauf, daß bei Netztransformatoren für elektronische Meßgeräte bei bestimmten Schutzarten eine Schirmwicklung gefordert wird, die mit dem Schutzleiter des Netzes verbunden werden muß.

Die Wicklungen werden selten „frei" hergestellt, sondern fast ausschließlich auf die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Spulenkörper aufgebracht. Sie bestehen aus Kupferlackdraht sowie Lagen- und Wicklungsisolation. Soweit irgend möglich, wird man die Wicklungen lagenweise wickeln. **Bild 21** zeigt als Beispiel die Anwendung von einer Primär- und zwei Sekundärwicklungen sowie der Abschirmung zwischen den Primär- und Sekundärwicklungen nebst der Wicklungsisolation. Etwa erforderliche Lagenisolationen sind nicht dargestellt.

2.4 Zubehörteile

Es besteht ein umfassendes Normenwerk über Zubehörteile das in Tabelle 10 zusammengestellt ist. Hier soll deshalb nur Zubehör von Transformatoren mit M-Schnitten behandelt werden.

Tabelle 30 enthält einige Daten von Befestigungswinkeln. Die zugehörigen Maßangaben sind **Bild 22** zu entnehmen.

Für EI-Kerne sind Befestigungsbügel und Laschen, für Schnittbandkerne Spannverschlüsse, Fußplatten und Rahmen genormt.

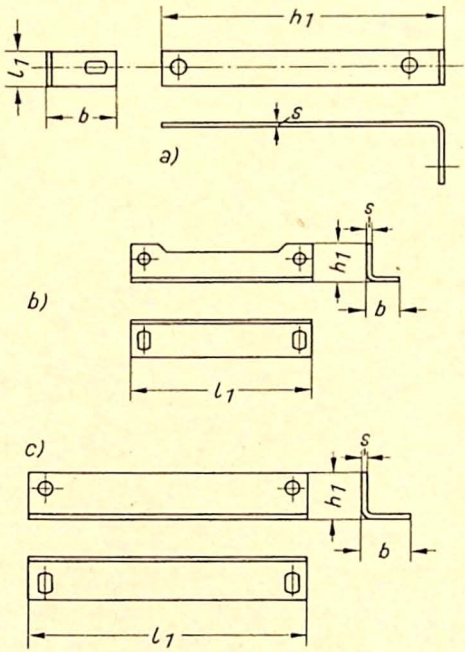


Bild 22 Befestigungswinkel

a) für Typ M 55 bis 102, Form F
b) für Typ M 55 bis 74, Form W 1
c) für Typ M 85 bis 102, Form W 2

Tabelle 30
Maße von Befestigungswinkeln

Typ	Form F				Form W 1			
	b	h_1	l_1	s	b	h_1	l_1	s
M 55	16,5	58,5	7	2	11,5	12	55	1,5
M 65	18,5	68,5	8	2	14	15,5	65	2
M 74	19,5	77,5	8	2	14,5	15,5	74	2
					Form W 2			
M 85	19,5	88,5	10	2	14,5	15,5	85	2,5
M 102	27	107	10	3	18	18	102	3

Alle Werte in mm

2.5 Raumbedarfsmaße

In den neuen Normen (vgl. Tabelle 11) sind die Raumbedarfsmaße für die Transformatoren angegeben, um die Konstruktion zu erleichtern. Ebenso findet man in den entsprechenden Normen Tabellen über die Zuordnung der für die einzelnen Typen maßgeblichen Normen.

Für die M-Kerne sind die Maßbezeichnungen in **Bild 23,** und zwar für Befestigungs-Winkel F, W 1 und W 2 sowie für Montage mit magnetischer Achse waagerecht oder senkrecht, zusammengestellt. Die Werte für die Kerne M 55 bis M 102 findet man in **Tabelle 31.** Dabei sind aber nur die Höchstabmessungen ohne Befestigungslöcher angegeben, die noch in dem Normenvorschlag enthalten sind.

Tabelle 31
Raumbedarfsmaße für Kerne Typ M

Typ	Form F			Form W 1 oder W 2		
	b	h	l	b	h	l
M 55	58	60	56	47	60	56
M 65	66	70	66	57	72	66
M 74	74	79	75	68	81	75
M 85a	74	90	87	67	92	87
M 85b	87	90	87	80	92	87
M 102a	93	109	104	76	110	104
M 102b	110	109	104	94	110	104

Alle Werte in mm

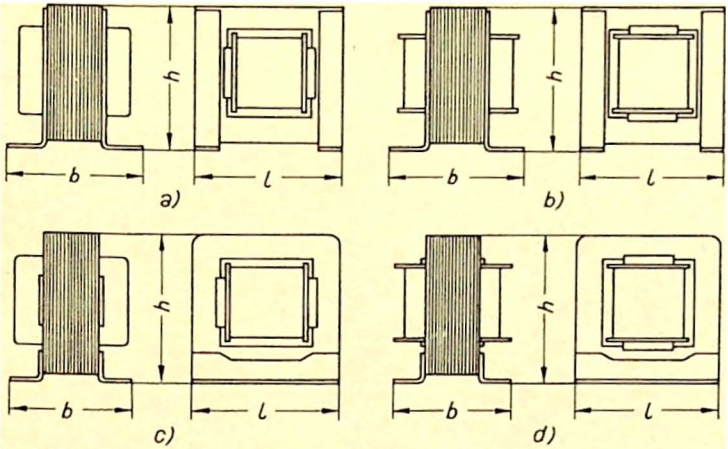


Bild 23 Raumbedarfsmaße für M-Kerne
a) Befestigungswinkel Form F, magnetische Achse waagerecht
b) Befestigungswinkel Form F, magnetische Achse senkrecht
c) Befestigungswinkel Form W 1 oder W 2, magnetische Achse waagerecht
d) Befestigungswinkel Form W 1 oder W 2, magnetische Achse senkrecht

Schließlich ist noch eine **Tabelle** 32 von Interesse, die eine Übersicht bringt, wie die Kernbleche nach DIN 41 302, die Spulenkörper nach DIN 41 303 und DIN 41 305, die Bügel, Winkel und Laschen nach DIN 41 307 und die Raumbedarfsmaße nach Entwurf DIN 41 308 zusammengehören.

In der Tabelle bedeuten B 1, B 2, F, W 1, W 2, W 3, W 4, W 5, W 6, W 7, L 1, L 2, L 3 die in den Normen zugelassenen verschiedenen *Formen* der Zubehörteile, die für M-Kerne in diesem Abschnitt in Bild 22 abgebildet sind.

Natürlich sind mit den Normen für die Vereinheitlichung der Zubehörteile nicht alle auf dem Markt befindlichen Teile erfaßt, aber sie werden zweifellos zu einer Vereinheitlichung führen, so daß man sich rechtzeitig darauf einstellen sollte.

Tabelle 32 Zuordnung von Normen für Kernbleche, Spulenkörper, Zubehörteile und Raumbedarfsmaße

Kernbleche DIN 41302		Spulenkörper DIN 41303	Spulenkörper DIN 41304	Spulenkörper DIN 41305	Entwurf DIN 41307 Bl. 1 Bügel	Entwurf DIN 41307 Bl. 2 Winkel	Entwurf DIN 41307 Bl. 3 Laschen	Raumbedarfsmaße Entwurf DIN 41308 magnetische Achse waagerecht		magnetische Achse senkrecht	
M	20	×		×							
	22	×		×							
	30	×		×							
	42	×	×	×							
	55	×	×	×		F W 1		W 1	F	W 1	F
	65	×	×	×		F W 1		W 1	F	W 1	F
	74	×	×			F W 1		W 1	F	W 1	F
	85	×	×			F W 2		W 2	F	W 2	F
	102	×	×			F W 2		W 2	F	W 2	F
EI abfallos	30	×		×	B 1 B 2					B 1	B 2
	38	×		×	B 1 B 2					B 1	B 2
	42	×	×	×	B 1 B 2					B 1	B 2
	48	×	×	×	B 1 B 2					B 1	B 2

Fortsetzung von Tabelle 32

	Kernbleche DIN 41302	Spulenkörper DIN 41303	Spulenkörper DIN 41304	Spulenkörper DIN 41305	Entwurf DIN 41307 Bl. 1 Bügel	Entwurf DIN 41307 Bl. 2 Winkel	Entwurf DIN 41307 Bl. 3 Laschen	Raumbedarfsmaße Entwurf DIN 41308 magnetische Achse waagerecht	Raumbedarfsmaße Entwurf DIN 41308 magnetische Achse senkrecht
abfallos	EI 54	×	×	×	B 1 B 2				B 1 B 2
	60	×	×	×	B 1 B 2				B 1 B 2
	66	×	×	×	B 1 B 2				B 1 B 2
	78	×	×			F W 3	L 1	L 1 W 3	F
	84	×	×			F W 3	L 1	L 1 W 3	F
abfallarm	EI 92	×	×			F W 3	L 1	L 1 W 3	F
	106	×	×			F W 3	L 1	L 1 W 3	F
	130	×	×			W 4 W 5	L 1	L 1 W 4	L 1 W 5
	150	×	×			W 4 W 5	L 1	L 1 W 4	L 1 W 5
	170	×	×			W 4 W 5	L 1	L 1 W 4	L 1 W 5
	195	×	×			W 4 W 5	L 1	L 1 W 4	L 1 W 5
	231	×	×			W 4 W 5	L 1	L 1 W 4	L 1 W 5
	L 59	×							
	UI 30	×		×		W 6	L 2 L 3		L 2 W 6 L 3 W 6
	39	×		×		W 6	L 2 L 3		L 2 W 6 L 3 W 6

Kernbleche DIN 41302	Spulenkörper DIN 41303	Spulenkörper DIN 41304	Spulenkörper DIN 41305	Entwurf DIN 41307 Bl. 1 Bügel	Entwurf DIN 41307 Bl. 2 Winkel	Entwurf DIN 41307 Bl. 3 Laschen	Raumbedarfsmaße Entwurf DIN 41308 magnetische Achse waagerecht	Raumbedarfsmaße Entwurf DIN 41308 magnetische Achse senkrecht
UI 48	×	×			W 6	L 2 L 3		L 2 W 6 L 3 W 6
60	×	×			W 6	L 2 L 3		L 2 W 6 L 3 W 6
75	×	×			W 7	L 2 L 3		L 2 W 7 L 3 W 7
90	×	×			W 7	L 2 L 3		L 2 W 7 L 3 W 7
102	×	×			W 7	L 2 L 3		L 2 W 7 L 3 W 7
114	×	×			W 7	L 2 L 3		L 2 W 7 L 3 W 7
132	×	×			W 7	L 2 L 3		L 2 W 7 L 3 W 7
150	×	×			W 7	L 2 L 3		L 2 W 7 L 3 W 7
168	×	×			W 7	L 2 L 3		L 2 W 7 L 3 W 7
180	×	×			W 7	L 2 L 3		L 2 W 7 L 3 W 7
210	×	×			W 7	L 2 L 3		L 2 W 7 L 3 W 7
EE 8	×		×					
10	×		×					
12,6	×		×					
16	×		×					
20	×		×					
25	×		×					

Fortsetzung von Tabelle 32

2.6 Wickeldraht

Für die Wicklungen wird man in der Regel Kupferlackdraht (CuL) verwenden, der gemäß den in Abschnitt 1.8 behandelten Normen zu beziehen ist. **Tabelle 33** enthält die Abmessungen und Eigenschaften von Kupferdrähten, die für die Verwendung wichtig sind. In ihr sind folgende Werte angegeben: Der Drahtdurchmesser (Nenndurchmesser) d_{Cu}, der Drahtdurchmesser mit Lackisolierung d_{CuL} von gewöhnlichem Kupferlackdraht, der Drahtquerschnitt q_{Cu}, das Gewicht je Meter Länge G_{Cu}, der Widerstand je Meter Länge R_{Cu}, die Windungszahl n_F, die man je 1 cm² Querschnitt unterbringen kann, sowie die höchstzulässigen Stromstärken $I_{2,55}$ und $I_{1,0}$ für Stromdichten von 2,55 und 1 A/mm². Auf die Beziehungen zwischen diesen Größen

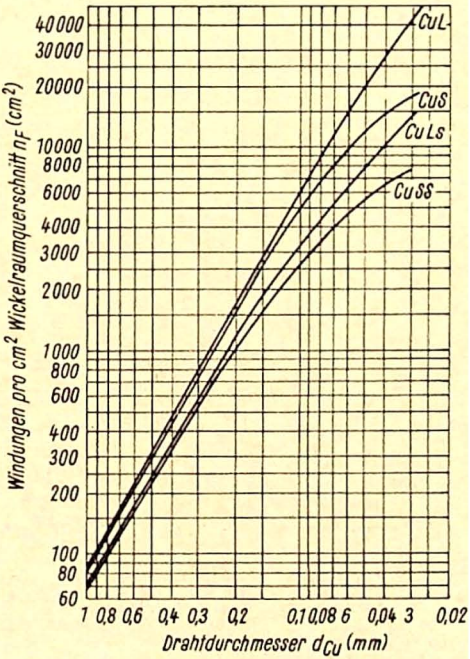


Bild 21
Kurventafel zur Entnahme der Windungen je cm² für verschiedene Drahtsorten

Tabelle 33

Abmessungen und Eigenschaften von Kupferdrähten

Draht-durchmesser d_{Cu} mm	Draht-durchmesser mit Lack d_{CuL} mm	Draht-querschnitt q_{Cu} mm² *)	Gewicht je m Länge G_{Cu} p/m	Widerstand je m Länge R_{Cu} Ω/m	Windungszahl je cm² n_F cm^{-2}	Höchststrom bei S = 2,55 A/mm² $I_{2,55}$ mA*)	Höchststrom bei S = 1,00 A/mm² $I_{1,00}$ mA*)
0,05	0,062	$20 \cdot 10^{-4}$	0,019	9,1	20 000	5	2
0,06	0,075	28	0,027	6,31	15 000	7	3
0,07	0,085	39	0,037	4,64	11 000	10	4
0,08	0,095	50	0,048	3,55	9 000	13	5
0,09	0,108	64	0,060	2,76	7 000	16	6
0,10	0,115	79	0,074	2,22	6 000	20	8
0,11	0,13	95	0,085	1,84	5 000	24	9
0,12	0,14	113	0,105	1,55	4 400	29	11
0,13	0,15	133	0,120	1,32	3 600	34	13
0,14	0,16	154	0,143	1,14	3 200	39	14
0,15	0,17	177	0,164	0,99	2 800	45	17
0,16	0,18	211	0,186	0,87	2 500	51	20
0,17	0,19	227	0,210	0,772	2 250	58	22
0,18	0,20	254	0,235	0,680	2 000	65	25
0,19	0,21	284	0,260	0,627	1 800	72	28
0,20	0,22	314	0,289	0,557	1 650	80	31
0,21	0,23	346	0,330	0,507	1 500	88	34
0,22	0,24	$38 \cdot 10^{-3}$	0,350	0,460	1 400	97	38
0,23	0,25	42	0,390	0,422	1 300	106	41
0,24	0,26	45	0,425	0,388	1 200	116	45
0,25	0,27	49	0,460	0,357	1 100	125	49
0,26	0,285	53	0,495	0,330	1 000	135	53
0,27	0,295	57	0,533	0,306	950	145	57
0,28	0,305	62	0,571	0,285	870	157	61
0,29	0,315	66	0,612	0,266	800	168	66
0,30	0,33	71	0,645	0,248	770	180	70
0,31	0,34	75	0,696	0,232	720	192	75
0,32	0,35	80	0,740	0,218	690	205	80
0,33	0,36	86	0,786	0,2051	650	218	85
0,34	0,37	91	0,835	0,1932	600	231	90
0,35	0,38	96	0,890	0,1824	580	245	96
0,36	0,39	102	0,940	0,1724	540	259	100
0,37	0,40	108	0,994	0,1632	520	274	107
0,38	0,41	113	1,046	0,1547	500	289	113
0,39	0,42	120	1,102	0,1469	475	304	120
0,40	0,43	126	1,160	0,1396	450	320	125
0,41	0,44	132	1,220	0,1329	430	336	132
0,42	0,45	139	1,278	0,1266	420	353	139

Draht-durch-messer d_{Cu} mm	Draht-durch-messer mit Lack d_{CuL} mm	Draht-quer-schnitt q_{Cu} mm² °)	Gewicht je m Länge G_{Cu} p/m	Wider-stand je m Länge R_{Cu} Ω/m	Win-dungszahl je cm² n_F cm⁻²	Höchststrom bei S = 2,55 A/mm² $I_{2,55}$ mA*)	Höchststrom bei S = 1,00 A/mm² $I_{1,00}$ mA*)
0,43	0,46	$145 \cdot 10^{-3}$	1,342	0,1209	390	370	145
0,44	0,47	152	1,405	0,1154	380	387	152
0,45	0,48	159	1,480	0,1103	370	405	159
0,46	0,49	166	1,540	0,1054	350	423	166
0,47	0,50	173	1,610	0,1012	330	442	174
0,48	0,51	181	1,680	0,0979	320	461	181
0,49	0,52	189	1,750	0,0931	310	480	188
0,50	0,535	196	1,830	0,0894	300	500	196
0,51	0,545	204	1,900	0,0859	290	520	204
0,52	0,555	212	1,970	0,0826	280	541	212
0,53	0,565	221	2,043	0,0796	265	562	221
0,54	0,575	229	2,118	0,0766	255	583	228
0,55	0,59	238	2,200	0,0738	250	605	237
0,56	0,60	246	2,275	0,0713	240	627	246
0,57	0,61	255	2,355	0,0688	230	650	255
0,58	0,62	264	2,455	0,0664	225	673	264
0,59	0,63	273	2,53	0,0642	220	696	274
0,60	0,64	283	2,62	0,0621	210	720	283
0,65	0,69	334	2,97	0,0526	180	845	332
0,70	0,74	385	3,43	0,0455	160	980	384
0,75	0,79	444	3,95	0,0395	140	1125	442
0,80	0,84	504	4,48	0,0348	120	1280	502
0,85	0,90	570	5,07	0,0308	110	1445	566
0,90	0,95	636	5,66	0,0275	100	1620	636
0,95	1,00	711	6,34	0,0246	90	1805	709
1,00	1,05	786	7,00	0,0223	83	2000	785
1,10	1,16	951	8,49	0,0184	67	2420	950
1,20	1,26	1131	10,09	0,0155	55	2880	1130
1,30	1,36	1329	11,81	0,0132	45	3380	1330
1,40	1,46	1540	13,70	0,0114	40	3920	1540
1,50	1,56	1770	15,75	0,0099	33	4500	1760
1,60	1,66	2015	17,91	0,0087	28	5120	2010
1,70	1,76	2275	20,20	0,0077	24	5780	2270
1,75	1,81	2365	21,50	0,0073	20	6125	2400
1,80	1,86	2545	22,65	0,0069	17	6480	2540
1,90	1,96	2840	25,15	0,0062	14	7220	2840
2,00	2,07	3142	28,00	0,0056	12	8000	3140

2,5 44,1 12500

*) Man achte darauf, daß die Stromstärke in die Formeln in A einzusetzen ist. Die Tabellenwerte (mA) sind mit 10^{-3} zu multiplizieren.

°) Die Tabellenwerte sind wie angegeben mit 10^{-4} oder 10^{-3} zu multiplizieren.

wird später noch eingegangen werden. Die in der Tabelle 24 angegebenen Werte für Kupferlackdraht sind durch **Bild 24** ergänzt. Hier kann man die höchstmögliche Windungszahl für 1 cm² Querschnitt auch für Kupferdrähte mit andersartigen Isolationen, wie Lackseide, Seide und Doppelseide, entnehmen.

2.7 Isoliermaterial

Während die Drähte der Wicklungen bereits durch ihre eigene Isolation, in der Regel Lack, voneinander isoliert sind, benötigt man zur Isolierung von Lagen oder Wicklungen bandförmiges Material. Bei gewöhnlichen Transformatoren wird Lackpapier oder Lackgewebe nach DIN 40 622 und 40 623 verwendet. Neuerdings geht man aus Gründen der Platzersparnis und erhöhten Sicherheit immer mehr zu Isolierfolien über. Wichtig für die Herstellung von Transformatoren ist die sogenannte *Fiederung* der Isoliermaterialien. Würde man nämlich Papier oder Folien mit glatten Rändern auf die Wicklungen aufbringen, so würde zwischen deren Rand und dem Spulenkörper noch soviel Platz bleiben, daß einzelne Drahtwindungen in die Öffnung gelangen, wodurch die Isolation unwirksam wird. Man wählt daher die Bänder etwas breiter als den Spulenkörper und die Wicklung und schneidet sie am Rande so auf, daß eine Fiederung entsteht. Die Fiederung legt sich dann gegen die Wand des Spulenkörpers, so daß der Draht nicht mehr hindurchrutschen kann.

Papier, Lackpapier, Leinen, Seide und Elektroisolierfolien werden von den verschiedensten Firmen unter deren geschützten Namen in den Handel gebracht. Einige nachstehend erwähnte Sorten sind daher nur Beispiele für zahlreiche weitere. Wir haben den Listen der Firmen einige Tabellen in gekürzter Form entnommen, um Beispiele für die Auswahl zu geben. **Tabelle 34** zeigt die wichtigsten Daten von Excelsiorpapier von 0,02 bis 0,2 mm Dicke. Die Durchschlagsspannung ist für Lagerung nach 48 Stunden in 65% feuchten Räumen angegeben, ebenso der Durchgangswiderstand.

Tabelle 35 gibt die gleichen Werte für Excelsior-Seide. Schließlich bringt **Tabelle 36** Werte für Dipotherm-Lackpapier zwischen 0,04 und 0,1 mm Dicke.

Tabelle 34
Einige Daten von Excelsior-Papier (Dielektra)

Dicke mm	Gewicht p/m²	Durchschlag-spannung*) kV	Durchgangs-widerstand*) MΩ
0,02	27	1,0	
0,03	44	1,8	
0,04	50	2,3	
0,05	63	2,5	
0,06	76	2,8	10^4
0,08	98	3,8	
0,10	122	4,5	
0,15	176	6,0	
0,20	230	7,5	

Tabelle 35
Einige Daten von Excelsior-Seide (fadengerade)

Dicke mm	Gewicht p/m²	Durchschlags-spannung*) kV	Durchgangs-widerstand*) MΩ
0,06	73	3,0	
0,08	97	3,5	
0,10	115	4,0	10^4
0,12	145	4,5	
0,14	160	5,5	
0,15	170	6,0	

Tabelle 36
Einige Daten von Diphotherm-Lackpapier (Dielektra)

Dicke mm	Gewicht p/m²	Durchschlag-spannung*) kV	Durchgangs-widerstand*) MΩ
0,04	50	2,5	
0,05	63	2,8	
0,06	76	3,5	10^4
0,08	98	4,5	
0,10	122	5,0	

*) Nach 48 Stunden Lagerung in Räumen mit 65% Feuchte.

Bezüglich der Fiederung der Isoliermaterialien sei noch bemerkt, daß der Fiederabstand, z. B. 1,5 oder 3 mm, die Fiedertiefe, z. B. bis 4 mm, sowie der Wunsch, ob ein- oder (in der Regel) zweiseitig gefiedert werden soll, angegeben werden muß.

Als Beispiele für Elektroisolier-*Folien* sollen Erzeugnisse der Firmen *Bayer* und *Kalle* genannt werden. Die Daten der von Bayer unter dem Namen *Triafol* und *Makrofol* herausgebrachten Elektroisolier-Folien sind in **Tabelle 37** und **38** auszugsweise zusammengestellt [9].

Das Material kann in Dicken von 0,01; 0,0125; 0,015; 0,02; 0,025; 0,03; 0,04; 0,06 mm usw. bezogen werden. Ab 0,025 mm werden alle Folien auch mit 1,5 mm Abstand gefiedert. Die Einschnittiefe liegt zwischen 1,5 und 10 mm.

Die Firma Kalle bringt entsprechende Folien unter dem Namen *Hostaphan*. **Tabelle 39** nennt die wichtigsten technischen Daten, soweit sie für Netztransformatoren und Drosseln interessant sind. **Bild 25** zeigt die Kern- und Lagenisolation mit beiderseitig gefiedertem Hostaphan bei einem Transformator.

Lieferung der Hostaphan-Folien erfolgt in Stärken von 0,01; 0,012; 0,015; 0,02; 0,025; 0,03; 0,04; 0,05; 0,075; 0,1; 0,125 mm.

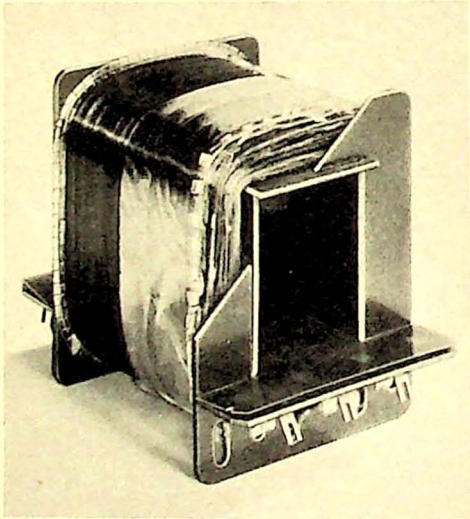


Bild 25
Kern- und Lagenisolation bei Transformatoren und Drosseln mit beiderseitig gefiedertem Hostaphan (Kalle, Wiesbaden)

Tabelle 37
Eigenschaften von Makrofol (Bayer)

Art	Einheit	N	G	KG	VDE/DIN
Dichte	$g\ cm^{-3}$	1,20	1,20	1,21	DIN 53 479
Zerreißfestigkeit	$kp\ mm^{-2}$	8 ... 9	13 ... 14	22 ... 28	DIN 53 371
Bruchdehnung	%	100 ... 120	50 ... 60	30 ... 40	DIN 53 371
Dauerwärmebeständigkeit	°C	130 ... 140	130 ... 140	140	—
Durchschlagfestigkeit	$kV\ mm^{-1}$	170	180	180	VDE 0 303 DIN 53 481
bei Probendicke	mm	0,04 ... 0,2	0,02	0,02	
Oberflächenwiderstand	Ω	$1 \cdot 10^{13}$	$3 \cdot 10^{13}$	$3 \cdot 10^{13}$	VDE 0 303 DIN 53 482
Spez. Durchgangswiderstand (trocken)	Ω · cm	$1 \cdot 10^{17}$	$1 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{17}$	VDE 0 303 DIN 53 482

Dicke	µm	3,5	6	10	12,5	15	20	25	30
Flächengewicht	$g\ m^{-2}$	4,2	7,2	12	15	18	24	30	36
Dicke	µm	40	60	100	150	200	300	400	500
Flächengewicht	$g\ m^{-2}$	48	72	120	180	240	360	480	600

Tabelle 38
Wichtige Eigenschaften von Elektroisolierfolien (Bayer)

Folie	Durchschlagfestigkeit*) bei 50 Hz kV/mm	Oberflächenwiderstand Ω	Spezifischer**) Durchgangswiderstand Ω · cm	Dielektrizitätskonstante bei 50 Hz —
Triafol TN	120	$4 \cdot 10^{13}$	$4 \cdot 10^{14}$	4,0
Triafol TX	110	$1 \cdot 10^{13}$	$1 \cdot 10^{14}$	4,3
Triafol BN	130	$1 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{14}$	4,1
Triafol BW	125	$1 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{14}$	3,8

*) Man lasse sich durch die große Zahl nicht täuschen, der Wert ist auf 1 mm Stärke bezogen.

**) 4 Tage bei 80% relativer Feuchte (trocken praktisch ∞).

Tabelle 39
Einige Daten von Elektroisolierfolien Hostaphan (Kalle)

Durchschlagfestigkeit bei 50 Hz kV/mm	Spezifischer Durchgangswiderstand Ω · cm	Oberflächenwiderstand (Vergleichszahl)
160	10^{17}	14

2.8 Befestigung und Spannungszuführung

Die Transformatoren und Drosseln bestehen aus den in den vorhergehenden Abschnitten besprochenen Bauteilen. Nicht erwähnt sind bisher die Isolierschläuche für die Isolierung der Zuführungen, die Winkel zum Befestigen der Transformatoren und Drosseln auf dem Chassis, die Lötösen für die Spannungszuführung sowie Befestigungsschrauben und die Abschirmung.

Es gibt eine große Zahl von Möglichkeiten für die Befestigung sowie für die Anbringung der Lötösen. Als Beispiele zeigen die **Bilder 26** und 27 fertige Bausätze. Bild 26 bringt eine Zusammenstellung der für einen Transformator mit Blechschnitt

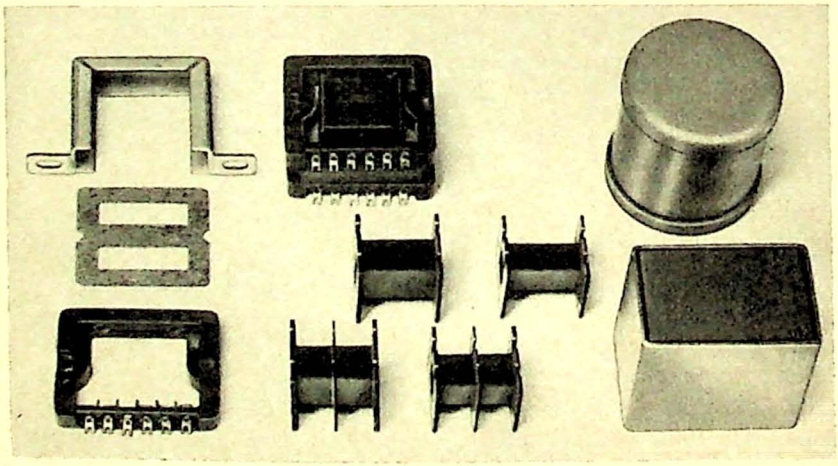


Bild 26 Bausätze für Transformatoren mit Blechschnitt M 30 (Zeissler)

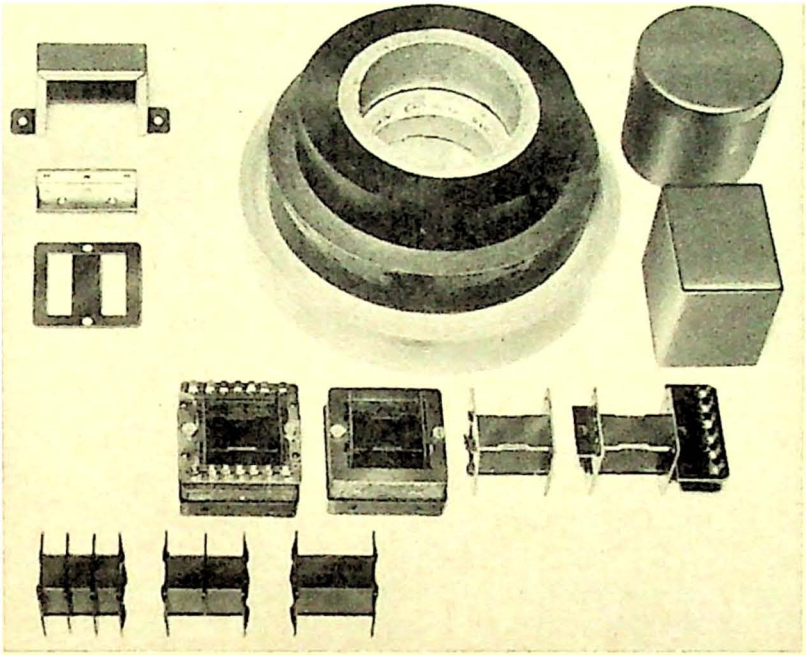


Bild 27 Bausätze für Transformatoren mit Blechschnitt M 42 (Zeissler)

M 30 erforderlichen Teile. Man erkennt das Blech, mehrere Spulenkörper, einen Rahmen mit Lötösen sowie eine Haube zur Befestigung auf dem Chassis. Auf die gleichfalls im Bild ersichtlichen Abschirmungen, die in der Regel für Übertrager, seltener für Netztransformatoren benötigt werden, wird im folgenden Abschnitt noch kurz eingegangen. Bild 27 zeigt einen Bausatz für einen Transformator mit Blechschnitt M 42. Hier erfolgt die Befestigung mit Hilfe eines Fußwinkels.

Statt die Lötösen in einem Rahmen unterzubringen, können die Spulenkörper auch so ausgebildet werden, daß die Lötösenplatte unmittelbar ein Teil des Spulenkörpers ist. Besonders geeignet sind hierfür Spulenkörper in Schachtelbauweise. **Bild 28** zeigt die Konstruktionszeichnung einer Lötösenplatte und einer zugehörigen Isolierplatte für Spulenkörper nach DIN 41304,

Blatt 3, für Kerne M 55 bis M 102. Hier sind Lötösen beiderseits des Spulenkörpers vorgesehen. Aus demselben Bild erkennt man die Abmessungen einer Lötösenplatte für Spulenkörper M 42. Hier sind die Lötösen auf einer Seite des Spulenkörpers angeordnet.

Es ist noch zu bemerken, daß die Wicklungsenden nicht immer an Lötösen geführt werden. Man stellt Transformatoren auch mit freien Wicklungsenden her oder führt die Enden der Primärwicklung und deren Abschirmung heraus, um die gemeinsame Lötösenleiste zu vermeiden (siehe hierzu auch VDE 0411).

2.9 Magnetische Abschirmung (Streufeldvermeidung)

Über die elektrischen Abschirmungen wurde bereits im Rahmen des Abschnittes über die Wicklungen berichtet, soweit es den inneren Aufbau des Transformators betraf. Netztransformatoren und Drosseln werden in den seltensten Fällen außen elektrisch abgeschirmt. In empfindlichen Geräten, insbesondere elektronischen Meßgeräten und Verstärkern, ist es jedoch gelegentlich erforderlich, den Netztransformator magnetisch zu schirmen. In den Bildern 26 und 27 sind topfförmige wie auch viereckige Abschirmungen zu erkennen. Für Netztransformatoren sind viereckige Abschirmungen gebräuchlicher. Die Abschirmungen werden in Schachtelbauweise ausgeführt, damit sich geschlossene magnetische Kreise bilden, die keine Streuung zulassen. Jede der Schachtelwicklungen kann aus mehreren Windungen Blech bestehen, die ebenso voneinander isoliert sind wie die Transformatorenkernbleche. **Bild 29** bringt eine Reihe von magnetischen Abschirmungen aus Permenorm Mu-Metall oder Hyperm.

Da solche magnetischen Abschirmungen sehr teuer sind, sollte man, wenn irgend möglich, die gestörten Teile abschirmen. Das ist leichter, weil bei wachsender Entfernung vom Transformator die Störfeldstärke stark abnimmt. Auch eine magnetisch isolierte Aufstellung des Netztransformators in bezug auf Eisenteile der Chassis hilft oft ebensoviel wie eine Abschirmung. Zu beachten ist ferner die räumliche Anordnung der Transformatoren sowie hinsichtlich der Streuung die Wahl des Kernschnittes.

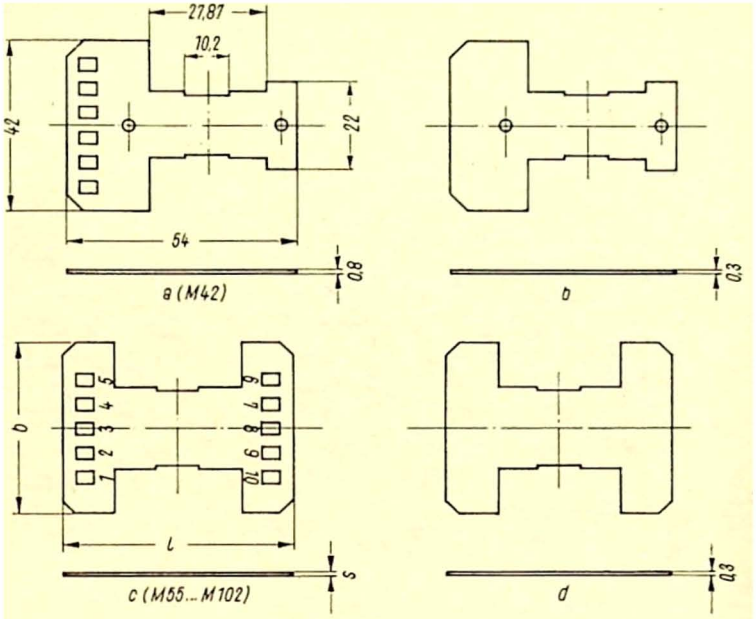


Bild 28 Lötösen- und Isolierplatten nach DIN 41304 Bl. 3

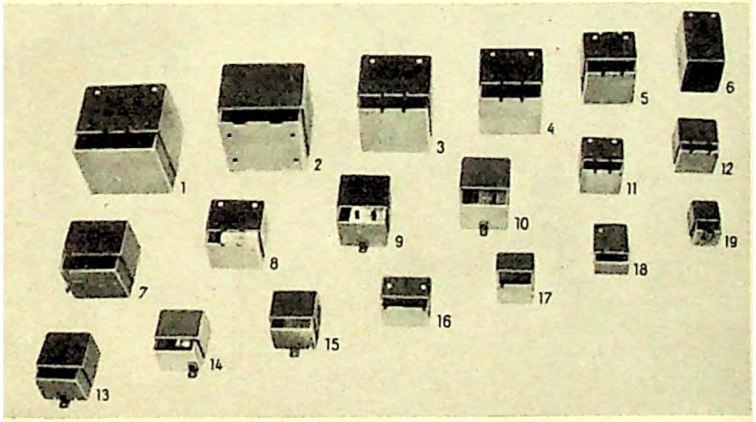


Bild 29 Magnetische Abschirmungen nach dem eckigen Schachtelprinzip (H. Haufe, Usingen)

2.10 Tränklacke

Hochwertige Transformatoren müssen durch Tränken mit Lacken gegen Feuchtigkeit geschützt werden. Das ist bei höheren Spannungen unbedingt erforderlich. Auch die Frage, wogegen der Schutz vor allem dienen soll, ist wichtig. Schließlich ist die Art der Trocknung maßgebend. Nicht jeder Lackdraht verträgt sich aber mit allen Tränklacken. In der **Tabelle 39** sind die Daten für verschiedene Kombinationen zusammengestellt. Besonders sei bemerkt, daß alle normalerweise in dünner Schicht an Luft trocknenden Lacke für die Tränkung von Spulen unbedingt eingebrannt werden müssen.

In der *Tabelle* wurden für einige Eigenschaften Bewertungen vorgenommen, die durch die Ziffern 1 bis 5 gekennzeichnet sind und folgende Bedeutung haben: 5 = gering, 4 = ausreichend, 3 = gut, 2 = ausgezeichnet, 1 = sehr gut. Die fünfstelligen Zahlen in der zweiten Spalte sind die Herstellnummern.

Tabelle 40

Tränklacke für Transformatoren

Basis der Lacktype	Nr.	Eigenschaften							Beständigkeit gegen				Tropenfestigkeit	Mittlere Dauer des Einbrennzyklus (je nach Art der Wicklung) in Stunden bei °C					Lösungsmittel Type Nr.	Wärmeklasse	Verträglichkeit mit Lackdrähten Lacktype Klasse E			
		lufttrocknend	ofentrocknend	Farbe	Härte	Biegsamkeit	Eindringvermögen	Bindungsvermögen	Feuchtigkeit	verdünnte Säuren	verdünnte Basen	Öle		25	110	125	135	150			Öl-Klasse A	Vinyl-	Urethan-	Terephatalat-Klasse B und E
Asphaltharze	10 505	ja	ja	schwarz	4	5	3	4	3	3	3	5	5	12/24	5/10	2/4			014	A, E	ja	ja	ja	—
Asphaltharze	10 553	nein	ja	schwarz	3	3	2	3	3	3	3	3	4		24/36	18/24	12/18		015	A, E	ja	ja	ja	—
Glyzerophtalatharze	11 458	nein	ja	hellgelb	3	3	2	3	4	4	5	2	5		24/36	18/24	12/18		025	A, E	nein	ja	ja	—
Glyzerophtalatharze	11 604	ja	ja	hellgelb	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5/6	1/2				050	A, E	ja	ja	ja	—
Aminoplaste	11 642	nein	ja	hellgelb	2	4	3	2	4	4	4	2	4			4/8	1/4		013	B	nein	ja	ja	ja
Öl-Phenolharze	12 390	nein	ja	braun	2	3	2	2	2	2	3	3	2			12/18	8/12		020	B	nein	ja	ja	ja
	12 405	nein	ja	braun	3	2	2	2	3	3	3	3	2			12/18	8/12		021	B	ja	ja	ja	ja
	12 476	nein	ja	hellgelb	2	3	2	2	1	1	3	2	2				8/12	5	025	B	nein	ja	ja	ja
	12 524																		011					
	12 500	nein	ja	braun	3	2	2	2	3	3	3	3	2			8/12	4/6		029	B	nein	ja	ja	ja
	12 517	nein	ja	braun	3	3	2	2	2	2	2	2	2			8/12	4/6		036	B	nein	ja	ja	ja
modifizierte Epoxyharze	15 558	nein		braun	1	3	2	1	1	2	3	2	2					5	048	F	nein	ja	ja	ja

3 Berechnung von Netztransformatoren

3.1 Allgemeines

Die Berechnung soll ein Minimum an Formeln erfordern. Deshalb muß eine Reihe von Werten in vereinfachter Form angegeben werden. Es hat sich zudem in der Praxis gezeigt, daß eine solche Berechnungsart vollkommen ausreicht. Bei Einzelstücken wird der Eisen- und Kupferverbrauch vielleicht etwas höher sein als bei genauester Berechnung. Das dürfte keine Rolle spielen. Bei Mustern für Serien wird sich aus den Messungen sowieso ergeben, was noch geändert werden kann, wie es bei Vorbereitungen von Serien üblich ist. Eine Anzahl Tabellen erlaubt über die Anwendung einfacher Formeln hinaus einen nahezu formellosen Berechnungsgang. Nachstehende Tabellen mit Daten für eine Reihe von Blechpaketen ergänzen die den DIN-Blättern entnommenen Werte auf solche, die für den Berechnungsgang erforderlich sind. **Bild 30** zeigt die in den folgenden **Tabellen 41** und **42** für Kerne mit M-, EI- und UI-Schnitten sowie in den Formeln gewählten Zeichen, soweit sie aus den Zeichnungen erkennbar sind.

3.2 Aufgabenstellung

Bevor man einen Netztransformator berechnet, sind grundsätzlich alle Forderungen zusammenzustellen. Man fertigt daher zweckmäßig ein Schaltbild an, wie es beispielsweise in **Bild 31** gezeigt ist, und trägt in dieses Schaltbild die wichtigsten Werte ein. Ein Netztransformator besteht aus einer Primärwicklung, die für mehrere Netzspannungen angezapft sein kann, und mehreren Sekundärwicklungen. Die Primärwicklung wird mit P, die Sekundärwicklungen werden mit S bezeichnet.

Mehrere Wicklungen erhalten entsprechende Indices. Der Primärwicklung werden die Spannungen U_p, der Strom I_p und die Leistung P_p zugeordnet. Entsprechend verfährt man bei den Sekundärwicklungen mit den Bezeichnungen U_{s1}, U_{s2}, I_{s1}, I_{s2}, P_{s1}, P_{s2} usw. Da man die Schaltung kennt, für die der

Tabelle 41
Blechpakete für Transformatoren und Drosseln mit M-Schnitten

Blech-paket *)	Max. Leistung P_{max} VA	Blech-breite x cm	Blech-höhe y cm	Steg-breite b cm	Fenster-breite x_F cm	Fenster-höhe y_F cm	Fenster-quer-schnitt F cm²	Mittlere Eisen-weglänge l_{Fe} cm	Paket-stärke z cm	Kern-quer-schnitt q cm²	Effek-tiver Kern-quer-schnitt⁰) q_{Fe} cm²	Volumen V cm³	Gewicht ⁰) G_{Fe} p
M 20/5	—	2,0	2,0	0,5	1,3	0,4	0,52	4,6	0,5	0,25	0,24	1,4	11
M 30/7	—	3,0	3,0	0,7	2,0	0,65	1,3	7,0	0,5	0,49	0,47	4,4	33
M 30/10	—	3,0	3,0	0,7	2,0	0,65	1,3	7,0	1,05	0,74	0,72	6,6	50
M 42/15	5	4,2	4,2	1,2	3,0	0,9	2,7	10,2	1,5	1,80	1,74	17,4	132
M 55/20	15	5,5	5,5	1,7	3,8	1,05	4,0	13,0	2,0	3,40	3,30	42,5	321
M 65/27	30	6,5	6,5	2,0	4,5	1,25	5,6	15,4	2,7	5,40	5,25	79,5	600
M 74/32	50	7,4	7,4	2,3	5,1	1,4	7,1	17,5	3,2	7,36	7,15	125	945
M 85/32	70	8,5	8,5	2,9	5,6	1,35	7,6	19,8	3,25	9,43	9,15	180	1360
M 102/35	120	10,2	10,2	3,4	6,8	1,7	11,6	23,8	3,55	12,1	11,7	280	2120
M 102/52	180	10,2	10,2	3,4	6,8	1,7	11,6	23,8	5,25	17,9	17,4	415	3140

*) Hier werden im Gegensatz zu den DIN-Tafeln Formelzeichen angegeben.

⁰) Abgerundete Werte für 0,35 mm starke Bleche.

Tabelle 42

Blechpakete für Transformatoren und Drosseln mit EI- und UI-Schnitten

Blechpaket *)	Max. Leistung P_{max} VA	Blechbreite x cm	Blechhöhe y cm	Stegbreite cm	Fensterbreite xF cm	Fensterhöhe yF cm	Fensterquerschnitt F cm²	Mittlere Eisenweglänge l_{Fe} cm	Paketstärke z cm	Kernquerschnitt q cm²	Effektiver Kernquerschnitt*) q_{Fe} cm²	Volumen V cm³	Gewicht*) G_{Fe} p
EI 30/10	—	2,5	3,0	1,0	1,5	0,5	0,75	6,0	1,0	1,0	0,97	6	46
EI 48/16	—	4,0	4,8	1,6	2,4	0,8	1,92	9,6	1,6	2,56	2,48	25	186
EI 54/18	—	4,5	5,4	1,8	2,7	0,9	2,43	10,8	1,8	3,24	3,14	33	252
EI 60/20	15	5,0	6,0	2,0	3,0	1,0	3,00	12,0	2,0	4,0	3,88	46	344
EI 66/22	20	5,5	6,6	2,2	3,3	1,1	3,63	13,2	2,2	4,84	4,70	54	410
EI 78/26	35	6,5	7,8	2,6	3,9	1,3	5,07	15,6	2,6	6,76	6,55	96	722
EI 84/28	50	7,0	8,4	2,8	4,2	1,4	5,88	16,8	2,8	7,84	7,60	145	1090
EI 105/35	100	8,75	10,5	3,5	5,25	1,75	9,19	21,0	3,5	12,25	11,90	252	1900
EI 105/45	140	8,75	10,5	3,5	5,25	1,75	9,19	21,0	4,5	15,75	15,30	324	2460
EI 130/35	250	10,5	13,0	3,5	7,0	3,0	21,0	27,0	3,5	12,25	11,90	322	2440
EI 130/45	290	10,5	13,0	3,5	7,0	3,0	21,0	27,0	4,5	15,75	15,30	412	3110
EI 150/40	340	12,0	15,0	4,0	8,0	3,5	28,0	31,0	4,0	16,0	15,55	486	3670
EI 150/50	430	12,0	15,0	4,0	8,0	3,5	28,0	31,0	5,0	20,0	19,4	611	4610
EI 150/60	580	12,0	15,0	4,0	8,0	3,5	28,0	31,0	6,0	24,0	23,3	745	5620
EI 170/65	750	14,0	17,0	4,5	9,5	4,0	38,0	36,0	6,5	29,25	28,4	1030	7800
EI 170/75	900	14,0	17,0	4,5	9,5	4,0	38,0	36,0	7,5	33,75	32,7	1190	9010
UI 30/10	—	5,0	3,0	1,0	3,0	1,0	3,00	12,0	1,0	1,0	0,97	11	85
UI 39/13	12	6,5	3,9	1,3	3,9	1,3	5,07	15,6	1,3	1,7	1,65	24	186
UI 48/16	30	8,0	4,8	1,6	4,8	1,6	7,68	19,2	1,6	2,6	2,52	45	348
UI 60/20	75	10,0	6,0	2,0	6,0	2,0	12,00	24,0	2,0	4,0	3,88	88	680
UI 72/24	170	12,0	7,2	2,4	7,2	2,4	17,28	28,8	2,4	5,8	5,63	152	1168
UI 87/29	300	14,5	8,7	2,9	8,7	2,9	25,23	34,8	2,9	8,4	8,15	269	2047

Transformator berechnet wird, sollte man in Bild 31 auch die Potentiale eintragen, auf die die Wicklungen kommen. Sie brauchen keinesfalls mit den Spannungen übereinzustimmen, die aus den Wicklungen entnommen wurden. Auf diesen wichtigen Punkt wird im Verlaufe der Berechnung noch mehrmals hingewiesen werden. Auch die Art der Gleichrichtung für Gleichrichter speisende Wicklungen ist für den Berechnungsgang insofern maßgebend, als die Stromentnahme aus der Wicklung bei gleichem Gleichstrombedarf unterschiedlich ist.

3.3 Leistung

Zuerst wird die Leistung eines Netztransformators berechnet. Die Leistung ist für eine Reihe von weiteren Entscheidungen von Bedeutung.

3.3.1 Netztransformatoren mit isolierten Sekundärwicklungen

Bei diesen Transformatoren sind Primär- und Sekundärwicklungen voneinander galvanisch getrennt (siehe Bild 31).

Die Werte der Spannung U_{s_1} (Volt) und des Stromes I_{s_1} (Ampere) für jede der gewünschten Sekundärwicklungen werden miteinander multipliziert und ergeben die Leistung P_{s_1} (Voltampere) der betreffenden Wicklung:

$$P_{s_1} = U_{s_1} \cdot I_{s_1} \tag{1}$$

Bei Wicklungen zur Entnahme von Wechselströmen ohne Gleichrichtung (z. B. Heizwicklung) werden die volle Wechselspannung ohne Berücksichtigung der Anzapfung (Mittelanzapfung) und der zu entnehmende Wechselstrom eingesetzt: z. B. bei einer Wicklung von $U_{s_1} = 2 \times 3{,}15$ V und $I_{s_1} = 4$ A rechnet man mit $P_{s_1} = 6{,}3 \times 4 = 25{,}2$ VA.

Bei Wicklungen mit Gleichrichtern in Vollweggleichrichtung (jedoch nicht bei der Brückenschaltung) wird nur die Spannung einer Wicklungshälfte eingesetzt, da jeweils nur eine Wicklungshälfte während einer Halbperiode leitend ist. Als Strom setzt man den Gleichstrom ein, der dem Ladekondensator der Siebkette entnommen wird. Bisher war es üblich, den Gleichstrom einzusetzen, der dem Netzteil entnommen wird. Das ist jedoch

oft falsch, da in geregelten Netzteilen ein hoher Eigenstromverbrauch für Teiler, Verstärkerröhren u. a. gegeben ist.

Bei einer Wicklung von z. B. 2 $U_{s2} = 2 \times 250$ V und $I_{s2} = 60$ mA$_=$ rechnet man mit $P_{s2} = 250 \times 0{,}060 = 15$ VA.

Bei Wicklungen für Einweggleichrichtung werden die volle Wechselspannung und der zu entnehmende Gleichstrom eingesetzt, z. B. bei einer Wicklung von $U_{s3} = 300$ V und $I_{s3} = 30$ mA$_=$ rechnet man mit $P_{s3} = 300 \times 0{,}030 = 9$ VA.

Die Leistungen der einzelnen Wicklungen werden zusammengezählt und ergeben die gesamte Sekundärleistung P_s (VA):

$$P_s = P_{s1} + P_{s2} + P_{s3} + \ldots \qquad (2)$$

3.3.2 Verluste bei Transformatoren mit isolierten Sekundärwicklungen

Bei der im vorhergehenden Abschnitt berechneten Leistung ist zwar der in dem vom Transformator gespeisten Gerät erforderliche Leistungsbedarf errechnet. Die Verluste sind jedoch nicht berücksichtigt. Folgende Kupfer- und Eisenverluste treten auf:

a) Ummagnetisierungsverluste (Hysterese),

b) Streuverluste (Kraftlinien, die nicht beide Wicklungen durchdringen),

c) Ohmsche Verluste (Widerstand der Wicklungen),

d) Wirbelstromverluste (Stromerzeugung in den Blechen).

Selbstverständlich können alle Verluste exakt berechnet und berücksichtigt werden. Das würde den Zweck dieser Arbeit übersteigen. Deshalb benutzt man mit Erfolg den Erfahrungswert, daß man bei den üblichen Blechen mit insgesamt 20% Verlust rechnen muß. Daraus ergibt sich, daß die dem Transformator primär zugeführte Leistung um 20% höher sein muß als die Summe der Sekundärleistungen.

$$P_p = 1{,}2 \cdot P_s \qquad (3)$$

$\eta = 0{,}8$ passt gut für gering
bei größeren Kernen werden Wirkungsgrade
von $\eta = 0{,}9 \ldots 0{,}95$ erreicht!

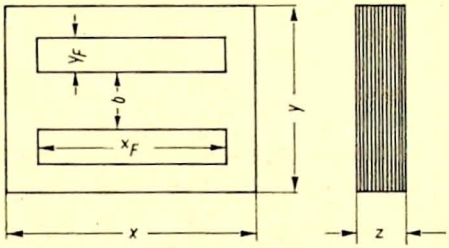


Bild 30
In den Formeln angewandte Zeichen für Kernabmessungen

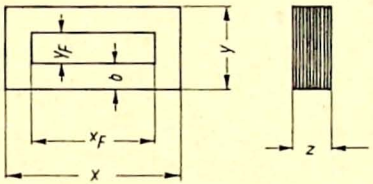
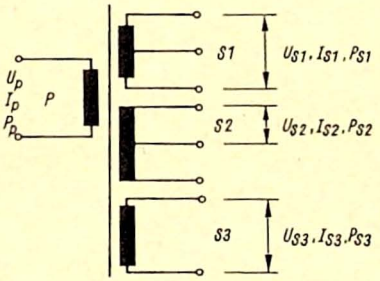


Bild 31
Bezeichnungen der Spannungen, Ströme und Leistungen an einem Netztransformator



3.3.3 Sekundärleistung von Netzspartransformatoren

Netzspartransformatoren werden selten allein angewandt. Sie dienen in der Regel dazu, eine Netzspannung, für die am Netztransformator keine Anzapfung vorhanden ist, anzupassen. Im Gegensatz zum Transformator mit vom Netz isolierten Sekundärwicklungen sind beim Spartransformator (oder Autotransformator) Primär- und Sekundärwicklung nicht galvanisch voneinander getrennt. Die sogenannte Unterspannungswicklung 2 bildet einen Teil der Oberspannungswicklung 1, die sich aus den Wicklungen 1 und 2 zusammensetzt.

Die Teilwicklungen des Spartransformators können nicht mit primär oder sekundär bezeichnet werden, sondern es ist zweckmäßig, die Teilwicklungen mit Wicklung 1 und 2 zu kennzeichnen. Je nachdem, ob in dem Spartransformator herauf- oder heruntertransformiert werden soll, kann eine der beiden Wicklungen die Aufgabe der Primärwicklung übernehmen.

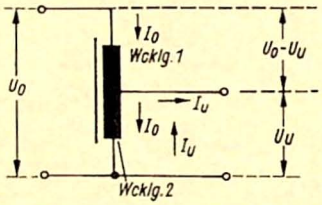


Bild 32 Schaltung eines Spar- oder Autotransformators

Bild 32 zeigt die grundsätzliche Schaltung eines Netzspartransformators, aus der die Bezeichnung der Wicklungen, Spannungen und Ströme ersichtlich ist. Die bei Spartransformatoren zu übertragende Leistung ist meist unmittelbar bekannt. Sie entspricht der Sekundärleistung P_s bei Isoliertransformatoren oder kann wie dort aus dem Produkt von Sekundärspannung U_s und Sekundärstrom I_s errechnet werden. In den Wicklungen 1 und 2 werden folgende Leistungen übertragen:

$$P_1 = (U_0 - U_u) \cdot I_0 \qquad (4)$$
$$P_2 = U_u \cdot (I_u - I_0)$$

Bezeichnet man mit Oberspannung U_0 die Spannung der Gesamtwicklung, also der Summe der beiden Teilwicklungen 1 und 2, und mit Unterspannung U_u die vom Transformator abgegebene oder aufgenommene Spannung an der Teilwicklung 2, so ergibt sich ein Übersetzungsverhältnis $\ddot{u}$. Dieses ist:

$$\ddot{u} = \frac{U_u}{U_0} \tag{5}$$

Die Sekundärleistung ist (ohne Berücksichtigung von Verlusten):

$$P_s = U_0 \cdot I_0 = U_u \cdot I_u \tag{6}$$

Die in den Wicklungen umgesetzten Leistungen sind gleich: $P_1 = P_2 = P'$, d. h. bei der Forderung nach einer bestimmten Sekundärleistung P_s ist bei Verwendung eines Spartransformators eine wesentlich kleinere Leistung P' zu übertragen, nämlich:

$$P' = P_s (1 - \ddot{u}) \tag{7}$$

Um das Übersetzungsverhältnis nicht erst berechnen zu müssen, sind die Werte für $\ddot{u}$ und $1 - \ddot{u}$ für eine größere Zahl von Primär- und Sekundärspannungen in **Bild 33** zusammengestellt. Sollten Zwischenwerte erforderlich sein, so können sie auf die aus den Linien zu entnehmenden Werte abgerundet werden.

Für die gebräuchlichsten Übersetzungsverhältnisse können die Werte unmittelbar der **Tabelle 43** entnommen werden.

3.3.4 Leistungsaufnahme von Netzspartransformatoren

Um die Leistung einschließlich der Verluste, die man für die weitere Rechnung braucht, zu erhalten, benutzt man wieder die Annahme von 20% Verlusten nach Gleichung (3) und erhält die Beziehung

$$P = 1{,}2 \cdot P' = P_p (1 - \ddot{u}) \tag{8}$$

Tabelle 43 Übersetzungsverhältnis $\ddot{u} = \frac{U_o}{U_u}$ *und* $1 - \ddot{u}$ *für gebräuchliche Netzspannungen*

Primärspannung	Sekundärspannungen U_u : V													
U_o V	110	120	127	130	140	150	180	200	220	240	250	300	350	380
110 $\ddot{u}$	1	0,92	0,87	0,85	0,79	0,73	0,61	0,55	0,50	0,46	0,44	0,37	0,31	0,29
$1-\ddot{u}$	0	0,18	0,13	0,15	0,21	0,27	0,39	0,45	0,50	0,54	0,56	0,63	0,69	0,71
120 $\ddot{u}$	0,92	1	0,95	0,92	0,86	0,80	0,67	0,60	0,55	0,50	0,48	0,40	0,34	0,32
$1-\ddot{u}$	0,08	0	0,05	0,08	0,14	0,20	0,33	0,40	0,45	0,50	0,52	0,60	0,66	0,68
127 $\ddot{u}$	0,87	0,95	1	0,98	0,91	0,85	0,71	0,64	0,58	0,53	0,51	0,42	0,36	0,33
$1-\ddot{u}$	0,13	0,05	0	0,02	0,09	0,15	0,29	0,36	0,42	0,47	0,49	0,58	0,64	0,67
130 $\ddot{u}$	0,85	0,92	0,98	1	0,93	0,87	0,72	0,65	0,59	0,54	0,52	0,43	0,37	0,34
$1-\ddot{u}$	0,15	0,08	0,02	0	0,07	0,13	0,28	0,35	0,41	0,46	0,48	0,57	0,63	0,66
140 $\ddot{u}$	0,79	0,86	0,91	0,93	1	0,93	0,78	0,70	0,64	0,58	0,56	0,47	0,40	0,37
$1-\ddot{u}$	0,21	0,14	0,09	0,07	0	0,07	0,22	0,30	0,36	0,42	0,44	0,53	0,60	0,63
150 $\ddot{u}$	0,73	0,80	0,85	0,87	0,93	1	0,83	0,75	0,68	0,63	0,60	0,50	0,43	0,40
$1-\ddot{u}$	0,27	0,20	0,15	0,13	0,07	0	0,17	0,25	0,32	0,37	0,40	0,50	0,57	0,60
180 $\ddot{u}$	0,61	0,67	0,71	0,72	0,78	0,83	1	0,90	0,82	0,75	0,72	0,60	0,51	0,47
$1-\ddot{u}$	0,39	0,33	0,29	0,28	0,22	0,17	0	0,10	0,18	0,25	0,28	0,40	0,49	0,53
200 $\ddot{u}$	0,55	0,60	0,64	0,65	0,70	0,75	0,90	1	0,91	0,83	0,80	0,67	0,57	0,53
$1-\ddot{u}$	0,45	0,40	0,36	0,35	0,30	0,25	0,10	0	0,09	0,17	0,20	0,33	0,43	0,47
220 $\ddot{u}$	0,50	0,55	0,58	0,59	0,64	0,68	0,82	0,91	1	0,92	0,88	0,73	0,63	0,58
$1-\ddot{u}$	0,50	0,45	0,42	0,41	0,36	0,32	0,18	0,09	0	0,08	0,12	0,27	0,37	0,42
240 $\ddot{u}$	0,46	0,50	0,53	0,54	0,58	0,63	0,75	0,83	0,92	1	0,96	0,80	0,69	0,63
$1-\ddot{u}$	0,54	0,50	0,47	0,46	0,42	0,37	0,25	0,17	0,08	0	0,04	0,20	0,31	0,37
250 $\ddot{u}$	0,44	0,48	0,51	0,52	0,56	0,60	0,72	0,80	0,88	0,96	1	0,83	0,71	0,66
$1-\ddot{u}$	0,56	0,52	0,49	0,48	0,44	0,40	0,28	0,20	0,12	0,04	0	0,17	0,29	0,34
300 $\ddot{u}$	0,37	0,40	0,42	0,43	0,47	0,50	0,60	0,67	0,73	0,80	0,83	1	0,86	0,79
$1-\ddot{u}$	0,63	0,60	0,58	0,57	0,53	0,50	0,40	0,33	0,27	0,20	0,17	0	0,14	0,21
350 $\ddot{u}$	0,31	0,34	0,36	0,37	0,40	0,43	0,51	0,57	0,63	0,69	0,71	0,86	1	0,92
$1-\ddot{u}$	0,69	0,66	0,64	0,63	0,60	0,57	0,49	0,43	0,37	0,31	0,29	0,14	0	0,08
380 $\ddot{u}$	0,29	0,32	0,33	0,34	0,37	0,40	0,47	0,53	0,58	0,63	0,66	0,79	0,92	1
$1-\ddot{u}$	0,71	0,68	0,67	0,66	0,63	0,60	0,53	0,47	0,42	0,37	0,34	0,21	0,08	0

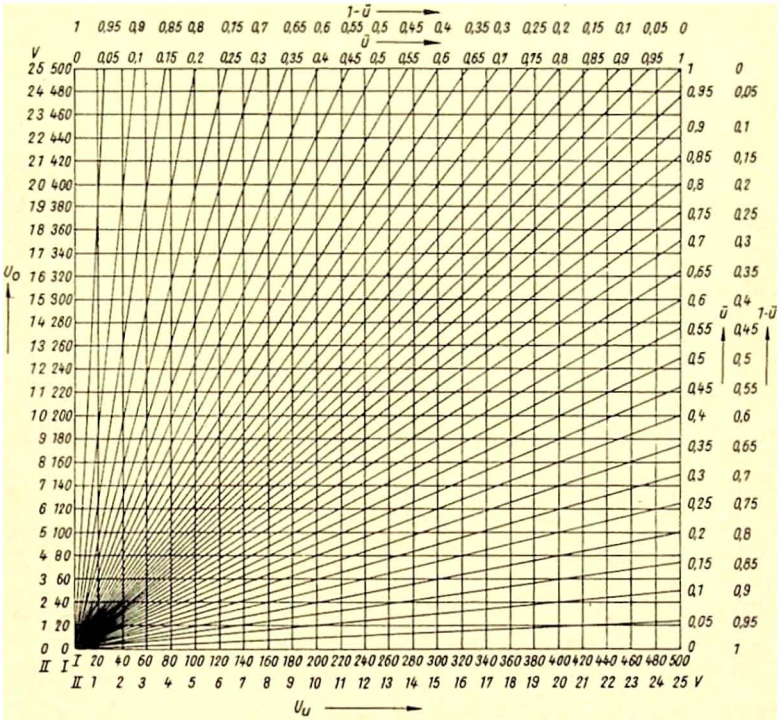


Bild 33 Übersetzungsverhältnis ü und Wert 1 — ü für verschiedene Primär- und Sekundärspannungen

3.4 Erforderliche Eisenmenge

Die für die Übertragung einer bestimmten Leistung erforderliche Eisenmenge hängt von der Form des Blechschnittes, dem Verhältnis von Kupfergewicht zu Eisengewicht, der zugelassenen Übertemperatur und verschiedenen anderen Faktoren ab. Wenn man jedoch keine allzu ungewöhnlichen Blechformen und Querschnittsformen für den Kern zuläßt, kann man mit Erfahrungswerten rechnen.

Bereits an dieser Stelle des Rechnungsganges muß man sich aber klar machen, daß die für bestimmte Blechpakete aus den genannten Faktoren errechnete oder angegebene höchste Leistung zwar für die Erfordernisse ausreicht, das ausgewählte Paket aber trotzdem nicht benutzt werden darf. Das rührt besonders bei vielen Sekundärwicklungen und höheren Spannungen daher, daß für die Windungen und die Isolation im Fensterquerschnitt kein ausreichender Platz zur Verfügung steht. Maßgebend wird daher zuletzt die *Kontrollrechnung* sein, die bestimmt, ob man mit dem Kern bei den gewünschten Wicklungen überhaupt auskommt (auch bei den angegebenen Leistungswerten aus den Tabellen), oder ob man zu einem größeren Kern übergehen muß.

Um einen ersten Überschlag zu erlauben, sind in **Bild 34** das erforderliche Eisenvolumen V_{Fe} in cm³ und das Eisengewicht G_{Fe} in p abhängig von der Primärleistung P_p (bei Spartransformatoren von P) in VA aufgetragen. Hier kann man also Werte unabhängig von den in den Tafeln angegebenen Werten entnehmen, auch wenn es sich um nichtgenormte Blechpakete handelt.

3.5 Auswahl der Bleche und Blechpakete

Man kann immer unter der Voraussetzung, daß der Fensterquerschnitt sich bei einer späteren Kontrollrechnung nicht als zu klein erweist, die erforderlichen Bleche und Blechpakete auch aus den in den Tabellen 41 und 42 angegebenen Höchstleistungen entnehmen. Immer muß man das Paket mit dem der Rechnung entsprechend nächsthöheren Wert für die Leistung verwenden.

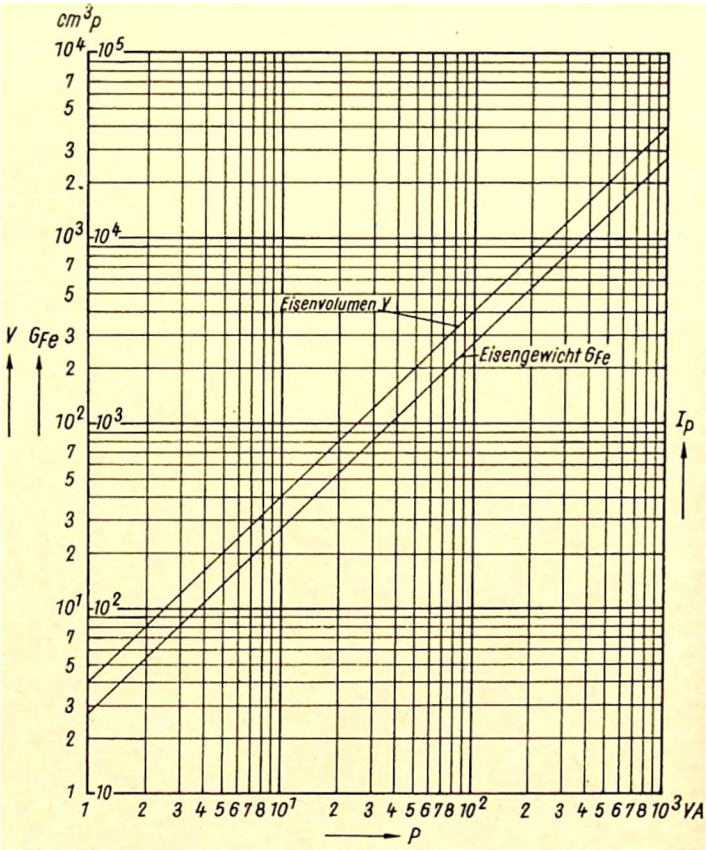


Bild 34 Eisenvolumen VFe und Eisengewicht GFe als Funktion des Primär-Leistungsbedarfs P_p

Bei Netztransformatoren werden die Bleche mit dem kleinsten Luftspalt verwendet, der durch wechselseitiges Schichten der Bleche noch dazu fast unwirksam gemacht wird. Alle Bleche sind voneinander durch eine auf das Blech aufgeklebte Papierschicht, durch Lackierung oder nach modernen Methoden durch eine Phosphatschicht isoliert. Letztere kann man bei verhältnismäßig hoher Isolation sehr dünn machen, um die für den Magnetismus nutzlosen Isolieranteile klein zu halten.

Der sogenannte effektive Kernquerschnitt q_{Fe} (cm^2) ist nämlich kleiner als der ausgemessene Querschnitt q (cm^2). Das Verhältnis beider nennt man den Eisenfüllfaktor k_{Fe}. Aus den Tabellen 15 bis 17, 41 und 42 können die wichtigsten Abmessungen entnommen werden, die für Normbleche und -kerne gelten. Hierbei sind die wichtigsten Abmessungen, nämlich Blechbreite x (cm), Blechhöhe y (cm), Stegbreite b (cm) und Kerndicke z (cm, mit Isolation), angegeben. Dann findet man den Kernquerschnitt q und den effektiven Kernquerschnitt q_{Fe} unter Berücksichtigung eines Eisenfüllfaktors von $k_{Fe} = 0{,}97$ für Dynamoblech IV von 0,35 mm Stärke mit entsprechender Isolation, ferner das Eisenvolumen V_{Fe} und das Eisengewicht G_{Fe} für die gleiche Blechsorte. Es sei jedoch bereits an dieser Stelle bemerkt, daß man einen Wert von $k_{Fe} = 0{,}97$ in Einzelfertigung nur schwer erreicht, und daß daher in der weiteren Rechnung ein Faktor von 0,90 eingesetzt wurde.

3.6 Berechnung des Stromes

3.6.1 Primärstrom

Zur Berechnung der Primärwicklung muß man auch den Primärstrom I_p (Ampere) kennen. Er ergibt sich aus dem Quotienten von Primärleistung P_p (Voltampere) und Primärspannung U_p (Volt):

$$I_p = \frac{P_p}{U_p} \tag{9}$$

Für eine Reihe von gebräuchlichen Netzspannungen U_p (V) sind in **Bild 35** Linien eingezeichnet, die den Primärstrom I_p (A) als Funktion der erforderlichen Leistung angeben.

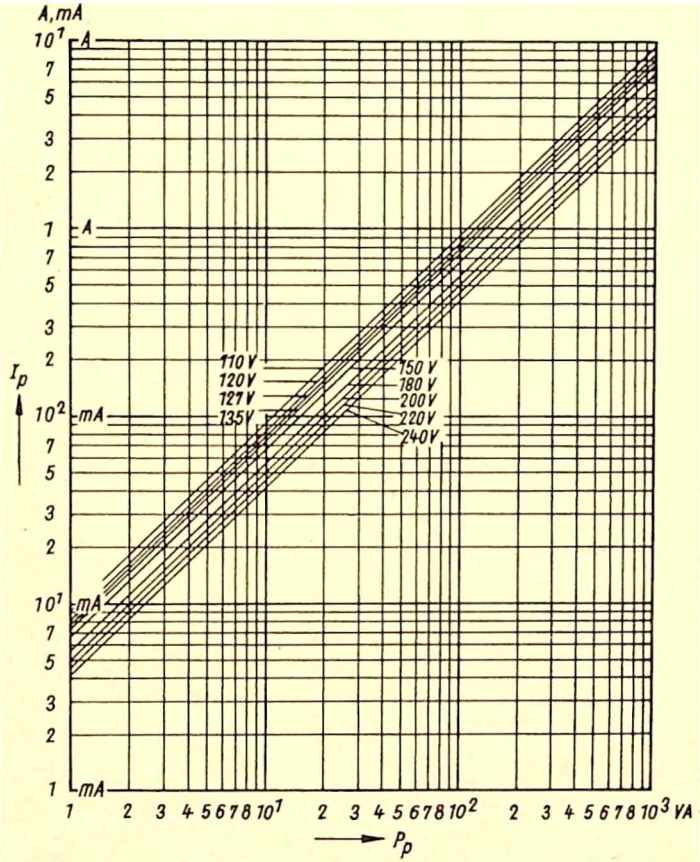


Bild 35 Dem Netz entnommener Primärstrom I_p in A (mA) als Funktion der berechneten Primärleistung P_p in VA für verschiedene gebräuchliche Netzspannungen Up in V

3.6.2 *Sekundärstrom*

Während bei den Transformatoren mit isolierten Sekundärwicklungen die Sekundärströme unmittelbar bekannt sind, sind bei Spartransformatoren die Ströme in den Teilwicklungen maßgebend:

$$I_1 = I_0 \qquad (10)$$
$$I_2 = I_u - I_0$$

Der Sekundärstrom I_s ergibt sich, wenn er nicht unmittelbar gegeben ist, aus übertragener oder Sekundärleistung P_s und Sekundärspannung U_s.

$$I_s = \frac{P_s}{U_s} \qquad (11)$$

Tabelle 44
Spannungen und Ströme im Spartransformator

	abwärts	*aufwärts*
U_0	U_p	U_s
I_0	I_p	I_s
U_u	U_s	U_p
I_u	I_s	I_p
U_1	$U_p - U_s$	$U_s - U_p$
U_2	U_s	U_p
I_1	I_p	I_s
I_2	$I_s - I_p$	$I_p - I_s$

3.7 Windungszahl je Volt

Für den Berechnungsgang ist diese Zahl mit der *wichtigste Wert*. Er hängt neben einer Konstanten, die von dem gewählten Maßsystem herrührt, von der zu übertragenden Frequenz (Netzfrequenz) f (Hz), der gewählten Blechsorte (siehe Tabelle 7 und 8), d. h. der höchstzulässigen magnetischen Flußdichte (Induktion) B_{Fe} in Eisen, gemessen in T (Tesla) (für Dyn.-Blech IV z. B. 1,2 T $= 1{,}2 \cdot 10^{-4}$ Vs/cm^2 $= 12\,000$ Gauß) und dem effektiven Eisenquerschnitt q_{Fe} in cm^2 ab. Hier muß eingeflochten werden, daß die für eine Blechsorte höchstzulässige magnetische Induktion öfter nicht ausgenutzt wird, um die Streuung, die mit wachsender Induktion steigt, zu vermindern (hochempfindliche Verstärker, Oszillografen). Beim Überschreiten der angegebenen höchstzulässigen Induktion wird die Sättigung zu stark, die Spannung muß auch bei größerer Windungszahl nicht mehr steigen. Nennt man die mittlere Windungszahl je Spannungseinheit n, so ergibt sich die Beziehung

$$n = \frac{10^4}{4{,}44 \cdot f \cdot B_{Fe} \cdot q_{Fe}} \qquad (12)$$

n in V^{-1} — B_{Fe} in T ($Vs\,m^{-2}$)
f in Hz (s^{-1}) — q_{Fe} in cm^2

Bei der genannten Induktion von 1,2 T und der Frequenz von 50 Hz, die man in die Beziehung (12) einsetzen kann, ergibt sich die wichtige Beziehung, die man auch als Faustformel gut behalten kann:

$$n = \frac{37{,}5}{q_{Fe}} \qquad (13) \qquad\qquad n = \frac{42}{q} \qquad (14)$$

Formel (14) erhält man aus (13) durch Einsetzen des Eisenfüllfaktors $k_{Fe} = 0{,}9$. Bei der mittleren Windungszahl je Spannungseinheit sind die Verluste nicht berücksichtigt. Man kann unter der Annahme, daß die Hälfte der Verluste (10% der

Sekundärleistung) primär durch verminderte Windungszahl und die andere Hälfte sekundär durch Erhöhung der Windungszahl ausgeglichen wird, mit zwei verschiedenen Windungszahlen je Spannungseinheit für primär n_p und für sekundär n_s rechnen und erhält:

$$n_p = 0{,}9\ n \qquad (15) \qquad\qquad n_s = 1{,}1\ n \qquad (16)$$

Die Werte für n, n_p und n_s in V^{-1} abhängig vom Eisenquerschnitt q in cm^2 kann man für die Frequenz von 50 Hz **Bild 36** entnehmen.

3.8 Windungszahlen

Die Windungszahlen w_p und w_s selbst ergeben sich für die verschiedenen Wicklungen durch Multiplikation der Windungszahl je Volt n_p bzw. n_s mit der Spannung U_p bzw. U_s der entsprechenden Wicklung:

$$w_p = n_p \cdot U_p \qquad (17) \qquad\qquad w_s = n_s \cdot U_s \qquad (18)$$

Bei Spartransformatoren ist nur zu beachten, daß die Wicklungen 1 und 2 je nachdem, ob herauf- oder heruntertransformiert wird, eine andere Beziehung zu den errechneten Primär- bzw. Sekundärwindungszahlen haben. Man kann sie **Tabelle 45** entnehmen.

Tabelle 45
Windungszahlen im Spartransformator

	abwärts	*aufwärts*
w_1	$= w_p - w_s$	$= w_s - w_p$
w_2	$= w_s$	$= w_p$

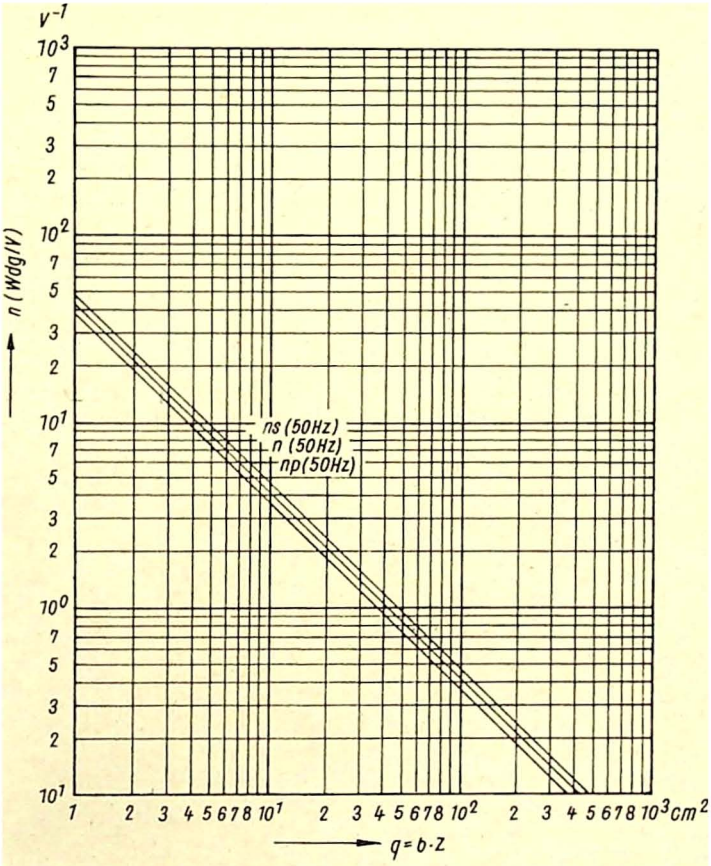


Bild 36 Windungen je Spannungseinheit n, n_p und n_s in V^{-1} als Funktion des Eisenquerschnittes q in cm^2 für eine Frequenz von 50 Hz

3.9 Drahtstärke

Die Drahtstärke hängt von der Stromstärke in der betreffenden Wicklung und der zugelassenen Erwärmung ab. Als Maß für die Stromstärke im Verhältnis zum Drahtquerschnitt wird die Stromdichte S (A/mm²) gewählt. Es ergeben sich zwei Beziehungen, aus denen der Drahtquerschnitt q_{Cu} (mm²) oder die Drahtstärke d_{Cu} (mm) entnommen werden können.

$$q_{Cu} = \frac{I}{S} \qquad (19) \qquad\qquad d_{Cu} = 2 \cdot \sqrt{\frac{I}{S \cdot \pi}} \qquad (20)$$

Bei höherer Stromdichte tritt eine stärkere Erwärmung ein. Man hat im allgemeinen der Einfachheit halber für die Einzelberechnung von Transformatoren mit einer Stromdichte von $S = 2{,}55$ A/mm² gerechnet. Dann wird die Gleichung (20) nämlich sehr einfach und man kann sie zur überschlägigen Rechnung leicht auswendig behalten.

$$d_{Cu} = \sqrt{\frac{I}{2}} \qquad (21)$$

Für eine Stromstärke von 4 A ergibt sich z. B.

$$d_{Cu} = \sqrt{\frac{4}{2}} = 1{,}4 \text{ mm } \varnothing$$

oder für eine Stromstärke von 200 mA ergibt sich

$$d_{Cu} = \sqrt{\frac{0{,}200}{2}} = \text{rund } 0{,}3 \text{ mm } \varnothing$$

Wenn man wirtschaftlicher arbeiten will, kann man für die kleineren Kerne, z. B. bis M 55/20, Stromdichten bis zu 4 A/mm² zulassen. Um jede Rechnung zu ersparen, ist in **Bild 37** die Abhängigkeit des Drahtdurchmessers d_{Cu} in mm von der Stromstärke I in A bei verschiedenen Stromdichten S in A/mm² aufgetragen.

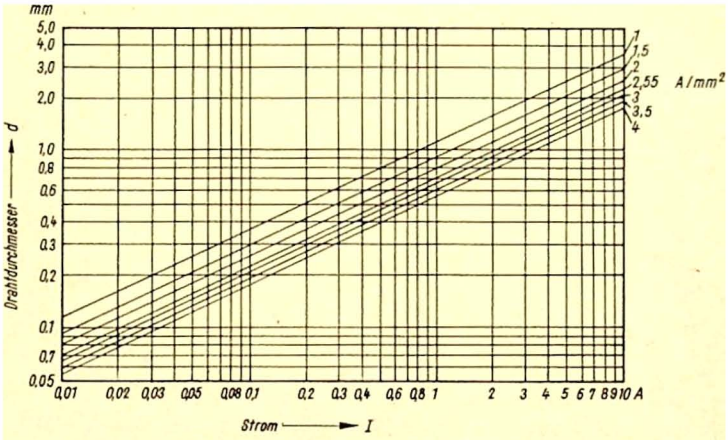


Bild 37 Drahtdurchmesser d_{Cu} in mm als Funktion der Stromstärke I in A für verschiedene Stromdichten in A/mm²

Während bei den Heizwicklungen und den Wicklungen mit unmittelbarer Entnahme des Wechselstromes sowie der Primärwicklung die Stromstärke I_s bzw. I_p auch zur Errechnung des Drahtdurchmessers eingesetzt wird, muß man bei den Anodenspannungswicklungen zunächst aus dem geforderten Gleichstrom auf den Strom in der Wicklung selbst umrechnen.

Bevor Richtwerte für die einfache Berechnung empfohlen werden, soll folgende Betrachtung angestellt werden. **Bild 38** zeigt die Spannungs- und Stromverhältnisse bei Eintakt- (a), Gegentakt- (b) und Brücken-Gleichrichtung (c). Hier erkennt man, daß in Bild 38 a durch die Sekundärwicklung nur während der für den Gleichrichter richtigen Polung, d. h. während einer Halbwelle, Strom fließt.

Er muß also höher sein als bei der Schaltung nach Bild 38 b, da während einer Halbwelle allein der erforderliche Gleichstrom aufgebracht werden muß. Bei der Schaltung nach Bild 38 b bringt jede Teilwicklung nur den halben Strom auf, weil während jeder Halbwelle Strom zugeführt werden kann. Bei der Schaltung nach Bild 38 c schließlich fließt auch während jeder Halbwelle Strom, der je zur Hälfte zur Entnahme beiträgt, aber

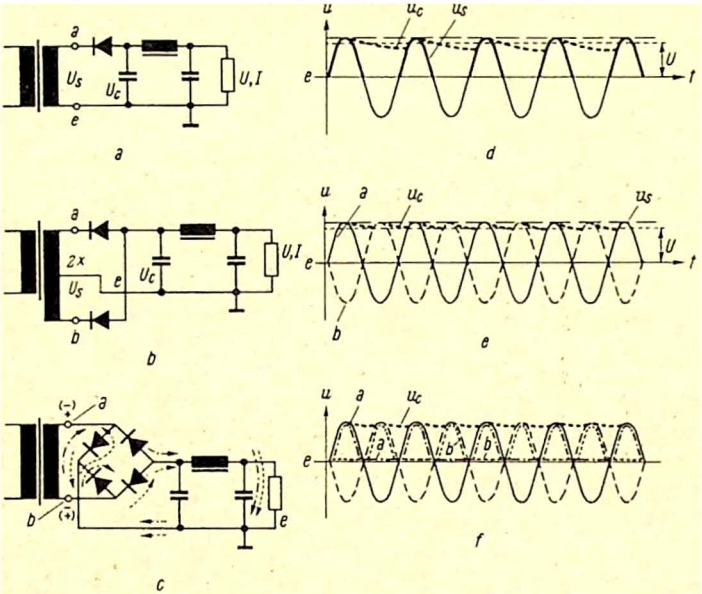


Bild 38 Spannungs- und Stromverhältnisse bei Sekundärwicklungen mit Einweg-, Vollweg- und Brückengleichrichtung

in derselben Wicklung, die damit ständig belastet ist. Daß der Strom nur stoßweise entnommen wird, abgesehen vom Anteil durch die Ladekondensatoren, sei der Vollständigkeit halber bemerkt. Nach den Erfahrungswerten wird bei Schaltungen nach a und c mit dem Faktor 1,2, bei b dagegen mit dem Faktor 0,65 multipliziert, so daß als Faustformel gelten kann:

$$I_{sc} = 1{,}2 \cdot I_{s=} \qquad (22\,a)$$

$$I_{sg} = 0{,}65 \cdot I_{s=} \qquad (22\,b)$$

$$I_{sb} = 1{,}2 \cdot I_{s=} \qquad (22\,c)$$

I_{sc} = Sekundärstrom mit Eintaktschaltung in A
I_{sg} = Sekundärstrom mit Gegentaktschaltung in A
I_{sb} = Sekundärstrom mit Brückenschaltung in A
$I_{s=}$ = Gewünschter Gleichstrom in A

Erst wenn man also die umgerechneten Stromstärken kennt, kann man die Gleichungen (19) bis (21) oder die Kurven nach Bild 37 für die betreffenden Sekundärwicklungen verwenden.

Für Spartransformatoren kommen nahezu ausschließlich Wechselstrombelastungen der Wicklungen in Betracht.

3.10 Wicklungs- und Lagenisolation

Für die Bemessung der Isolation der sekundären Wicklungen ist nicht nur die an den Wicklungen erzeugte Spannung, sondern auch die Schaltung zu beachten. Durch die Schaltung kann eine Wicklung, die selbst eine niedrige Spannung abgibt, auf hohem Gleich- oder Wechselpotential liegen. Man muß also zur Transformatorenberechnung immer die Schaltung zur Verfügung haben. Sehr zu empfehlen sind Bilder des zeitlichen Verlaufs der Potentiale der Wicklungsenden und ihrer Anzapfungen. Während die bereits in Bild 38 angegebenen Schaltungen a und b dann einfache Potentialverhältnisse aufweisen, wenn die Punkte e wie gezeichnet mit Masse verbunden sind, zeigt die Schaltung Bild 38 c, daß hier schon nach Bild 38 f beide Wicklungsenden abwechselnd etwa auf Erdpotential liegen können. Neuere Forderungen bei Netzgeräten, insbesondere transistorgeregelten, müssen dann berücksichtigt werden, wenn sie eine potentialfreie Schaltung verlangen und dann die Geräte womöglich noch in Reihe geschaltet werden müssen. **Bild 39** soll diese Verhältnisse in einer vereinfachten Schaltung darstellen.

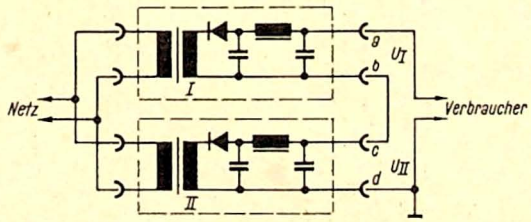


Bild 39 Potentialverhältnisse bei Serienschaltung zweier Netzgeräte

I und II seien die beiden Netzgeräte, die primärseitig parallel geschaltet werden und deren Ausgangsspannungen U_I und U_{II} in Reihe gelegt werden sollen. Angenommen, der Punkt d wird an Masse gelegt, so wird das gesamte Potential des Netzgerätes I gegen Masse – aber auch, was sehr wichtig ist, gegen die Primärwicklung – um die Spannung U_{II} angehoben. Man muß also die Sekundärwicklungen des Transformators vom Netzteil I für die Summe der eigenen Potentiale und des Ausgangspotentials des Netzteils II isolieren. Da man auch die Netzteile I und II vertauschen kann, gilt das für beide Netztransformatoren und deren – hier nicht gezeichnete – sämtliche Sekundärwicklungen!

Zwei weitere Beispiele sollen diese Betrachtungen ergänzen. **Bild 40** zeigt einen Transformator für einen Netzteil mit Einweggleichrichter unter Anwendung einer Röhre. Die Potentialverteilung zeigt **Bild 41**. Die Schirmwicklung o liegt auf Erdpotential, ebenso das Ende c der Sekundärwicklung. Die Primär-

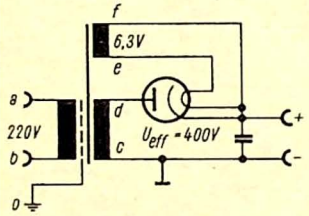


Bild 40 Schaltung einer Röhrengleichrichtung mit auf Gleichpotential liegender Heizwicklung

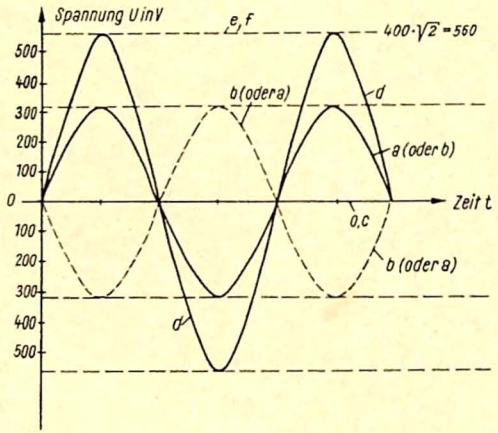


Bild 41 Potentialverteilung bei der Schaltung nach Bild 40

wicklung liegt je nach Polung mit b an Erde und a auf dem gezeichneten Potential von max. $220 \cdot \sqrt{2} = 310$ V oder a an Erde und b auf Potential. Zu beachten ist, daß a oder b um 180° phasenverschoben liegen können, was gestrichelt dargestellt ist.

Der Punkt d der Sekundärwicklung hat ein Höchstpotential von $400 \cdot \sqrt{2} = 560$ Volt gegen Erde und kann also bei zufällig ungünstiger Polung der Primärwicklung gegen a oder b ein Spitzenpotential von $560 + 310 = 870$ Volt aufweisen. In den betreffenden VDE-Vorschriften muß daher immer die Summe der Spannungen der beiden gegeneinander zu prüfenden Wicklungen berücksichtigt werden. Die Wicklung e, f hat selbst eine kleine zu vernachlässigende Spannung. Sie liegt aber auf einem Gleichpotential von 560 V gegen Erde. Sie nimmt also gegen a oder b ebenfalls ein Spitzenpotential von 870 V an, ebenso gegen das Ende d der anderen Sekundärwicklung.

Ein weiteres Beispiel zeigt **Bild 42**. Die Spannung der Primärwicklung soll bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt werden. Die Sekundärspannung soll bei Nennspannung des Netzes einen Effektivwert von 3000 V haben. Die erzeugte Gleichspannung soll bei Netzschwankungen von ± 10% 3000 V betragen. Bei einer Netzüberspannung von 10% beträgt die Sekundärspannung 3300 V, was einem Spitzenwert von 4620 V entspricht.

Nimmt man an, daß bei Stromentnahme in den Gleichrichtern und der Wicklung eine Spannung von 620 V verlorengeht, so muß in diesem Fall die Röhre 1000 V ausregeln, damit am Ladekondensator eine Gleichspannung von 3000 V verbleibt. Daraus ergeben sich die Potentiale nach **Bild 43**. Punkt a liegt auf positivem Potential von 1000 V, Punkt b schwankt um dieses Potential mit Spitzen von 4620 V, so daß in positiver Richtung

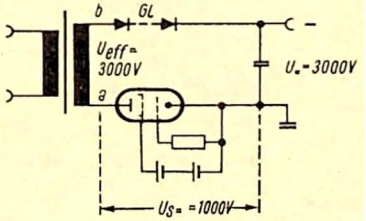


Bild 42 Schaltung mit Gleichrichtung und Röhrenregelung für Spannungsstabilisierung

5620 V und in negativer Richtung 3620 V gegen Erde entstehen. Die Isolation muß für ein *Betriebs*-Höchstpotential von rund 6000 V ausgelegt werden, wenn man das Spitzenpotential der Primärwicklung bei 10% Überspannung berücksichtigt. Das sind 100% mehr, als dem Spitzenpotential der Sekundärwicklung entspricht! Ob man die ganze Wicklung oder nur das Ende b für dieses Potential isolieren muß, hängt von der Art der Wicklung ab. Im letzteren Fall müssen die Herausführungen gut gekennzeichnet werden, da eine Umpolung zur Zerstörung des Transformators führt.

Erst wenn diese Betrachtungen abgeschlossen sind, kann man sich mit der Isolation, d. h. ihrer Bemessung, beschäftigen. Man wickelt einen Netztransformator in der Regel in folgender Reihenfolge: zuerst die Primärwicklungen, dann die Wicklungen höherer Spannung und schließlich soweit vorhanden die Heizwicklungen.

In Abschnitt 2.7 wurden die verschiedenen Arten von Isoliermaterialien bereits besprochen. Die folgenden Betrachtungen behandeln *Lackpapier*. Es ist selbstverständlich, daß stärker beanspruchbares Material entsprechend dünner oder in weniger Lagen gewählt werden kann. Dadurch werden oft auch hinsichtlich des Platzbedarfes Vorteile erzielt. Man muß sich darüber klar sein, daß die Isolation einen erheblichen Anteil des zur Verfügung stehenden Fensterquerschnittes verbraucht. Zur Vermeidung von Überschlägen muß man sowohl innerhalb der Wicklungen (Lagenisolation) als auch zwischen den Wicklungen

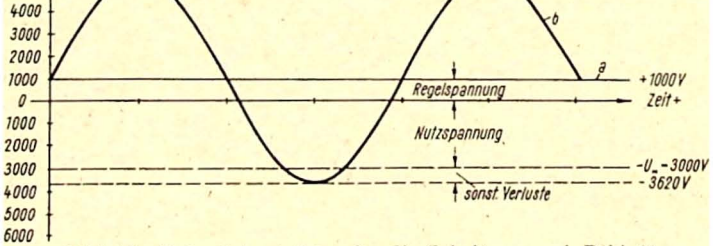


Bild 43 Potentialverteilung für die Schaltung nach Bild 43

(Wicklungsisolation) je nach der Drahtstärke verschieden starkes Lackpapier in einer oder mehreren Lagen aufbringen, um die Überschlagsgefahr zu beseitigen. Bei Lackdraht (ohne Seide) wird nach je 30 V eine Lagenisolation vorgesehen, und zwar bei Draht bis 0,1 mm Durchmesser Lackpapier (LP) 1 × 0,03 mm, bei Draht bis 0,5 mm Durchmesser Lackpapier 1 × 0,06 mm und bei Draht über 0,5 mm Durchmesser Lackpapier 1 × 0,1 mm. Für die Wicklungsisolation verwendet man bis 500 V Spitzenspannung Lackpapier 2 × 0,1 mm, bis 700 V 3 × 0,1 mm, bis 1000 V 4 × 0,1 mm und bis 1500 V 5 × 0,1 mm. Man achte auch darauf, daß an den Rändern der Wicklungen nicht Drähte überstehen, und wickle gegebenenfalls nicht ganz bis an den Rand des Spulenkörpers. Zur Isolation gegen den Kern sind Spulenkörper mit Seitenflanschen vorausgesetzt. Über die letzte Wicklung kommen außerdem zum Schutz eine oder mehrere Lagen Lackpapier je nach der Spannung der letzten Wicklung gegen den Eisenkern (Masse oder Erde).

Da Spartransformatoren nur eine einzige Wicklung enthalten, kommt nur eine Lagenisolation vor, die nach je 30 Volt anzubringen ist.

3.11 Kontrollrechnung

Die Kontrollrechnung dient dazu, festzustellen, ob die errechneten Windungen mit dem gewählten Drahtdurchmesser und die zugehörige Isolation im Fenster des vorgesehenen Blechs Platz haben. Sie ist auf jeden Fall durchzuführen, da Arbeitszeit und Material verloren sind, wenn nicht alle Wicklungen mit der Isolation ausreichenden Platz haben. Auch der erhebliche Platzanteil des Spulenkörpers darf nicht vergessen werden.

Zu beachten ist, daß auch die Kontrollrechnung nicht hilft, wenn durch unsorgfältiges Wickeln zuviel Platz vergeudet wird. Man sollte möglichst lagenweise wickeln. Wenn man keine Übung hat oder nicht über einwandfreie Wickelvorrichtungen verfügt, sollte man eine erhebliche Platzreserve gegenüber den Tabellenwerten einkalkulieren.

In der Tabelle 33 findet man die Abmessungen von Kupferlackdrähten. Maßgebend für den Platzbedarf ist natürlich nicht der reine Kupferquerschnitt, sondern der Querschnitt einschließlich Isolation. Schließlich füllen die Drähte nicht den ganzen

Raum, weil sie rund und nicht viereckig sind. Der Platzbedarf zur Summe der Querschnitte aller Windungen ist größer, und man nennt den Quotienten den Kupferfüllfaktor f_{Cu}. Dieser ist wiederum vom Drahtdurchmesser abhängig. In der Tabelle 33 sind alle diese Fragen berücksichtigt, und man kann für jeden Drahtdurchmesser den zugehörigen Platzbedarf entnehmen. Es ist die unterzubringende Windungszahl je 1 cm² Querschnitt n_F aufgeführt. Der Platzbedarf F_n für eine Wicklung ohne Lagenisolation errechnet sich dann aus der Gesamtwindungszahl w_n der betreffenden Wicklung geteilt durch die Windungszahl je 1 cm² n_F.

$$F_n = \frac{w_n}{n_F} \tag{23}$$

F_n = Platzbedarf für die Wicklung in cm²
w_n = Windungszahl der Wicklung
n_F = Platzbedarf für 1 cm² in cm^{-2}

Man kann jetzt die Summe des Platzbedarfs aller Wicklungen errechnen.

$$F_{ges} = F_p + F_{s_1} + F_{s_2} \ldots . \tag{24}$$

Wenn man überschlägig rechnet, so darf der Wert F_{ges} höchstens $^2/_3$ des Fensterquerschnittes F betragen.

Diese Annahme ist aber sehr ungenau und soll nur aussagen, daß es bei einem höheren Wert von F_{ges} im allgemeinen nicht lohnt, weiterzurechnen. Man muß entweder einen größeren Kernquerschnitt wählen oder von vornherein wissen, daß sehr sorgfältig gewickelt werden muß und besonders hochwertige dünne Isolierfolien genommen werden müssen.

Andererseits kann auch $^2/_3 F$ noch zuviel sein, wenn die Wicklungen selbst durch ihre Schaltung, wie bereits ausführlich beschrieben, ein hohes Potential haben, so daß viel Platz für die Isolation verwendet werden muß. Es ist also in jedem Fall sinnvoll, sich Gedanken auch über den Platzbedarf von Spulenkörper und Isolierfolien oder -Papier zu machen. Hierzu gehören auch Abschirmungen oder Schirmwicklungen. Sehr dünne Drähte erfordern noch zusätzlich verstärkte Ausführungen, die

Platz erfordern. Schließlich kosten Anzapfungen, die oft quer zur Wicklung herausgeführt werden müssen, Platz.

Den Platz für Spulenkörper kann man den Tabellen 20 bis 29 entnehmen, unter Berücksichtigung der in den Bildern 20 und 28 angegebenen Hauptabmessungen. Es ist kein Fehler, wenn man mit 1 mm starkem Material rechnet, so daß nach **Bild 44** sowohl seitlich als auch in der Höhe für den einfachsten Spulenkörper mindestens 1 mm abzuziehen sind. Bei der Wicklungs- und Lagenisolation ist einfach die Zahl der Isolationen mit derer sicherheitshalber verdoppelter Stärke zu multiplizieren und ebenfalls von der Fensterhöhe y_F abzuziehen.

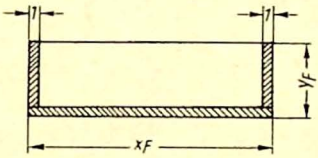


Bild 44 Berücksichtigung des Platzbedarfs des Spulenkörpers im Fensterquerschnitt

3.12 Zusammenfassung der errechneten Werte für Netztransformatoren

Nach der Skizze der Wicklungen, die man zu Beginn der Rechnung angefertigt hat, ist es sehr wichtig, die jeweils errechneten Werte in eine vorbereitete Tabelle einzutragen, um sie für die Herstellung zur Hand zu haben. **Tabelle 46** zeigt hier ein Beispiel.

Schaltungsskizze und Tabelle genügen noch nicht. Unter Berücksichtigung beider ist eine ausführliche *Bauvorschrift* anzufertigen, die die Herstellung eines Transformators erlaubt. Sie enthält noch das gewählte Blech, das Blechpaket, genaue Vorschriften für die Isolation und nicht zuletzt Anweisungen für die Anordnung der Lötösen und die Anschlüsse der einzelnen Wicklungen. Es kommt auch vor, daß Wicklungsenden frei herausgeführt werden müssen, was besonders anzugeben ist.

Tabelle 46

Beispiel für einen Tabellenkopf zur Eintragung der berechneten Daten für einen Netztransformator

Wicklung	Spannung: Nenn-Spannung	Spannung: für Leistung	Potential gegen Masse	Strom: Nenn-Strom	Strom: für Draht Berechnung	Leistung
Nr.	U_p ; U_s V		U_e V	I_p ; I_s A	I_w	P_p ; P_s VA

Windungen Wdg/V	Windungen gesamt	Drahtdurchmesser	Windungen je cm²	Platz	Bemerkungen über Wicklungs- und Lagenisolation
n_p ; n_s V^{-1}	w_p ; w_s —	d_{Cu} mm	n_F cm^{-2}	F_n cm^2	

4 Berechnung von Netzdrosseln

4.1 Allgemeines

Die für eine gute Siebwirkung erforderliche Induktivität von Netzdrosseln ist stark abhängig von dem angenommenen Gleichstromanteil. Dieser ruft eine Vormagnetisierung hervor, die die magnetische Leitfähigkeit, abhängig von der magnetischen Feldstärke, stark verändert. Da diese magnetische Leitfähigkeit in Luft konstant ist (etwa gleich der Induktionskonstante μ_0), verwendet man Kernbleche und Pakete mit einem Luftspalt. Eisenweg und Luftspalt liegen für die magnetischen Kraftlinien in Reihe, wie zwei elektrische Widerstände für den elektrischen Strom. Dabei ist der dem Luftspalt entsprechende Widerstand groß gegen den des Eisenweges, obwohl die Eisenweglänge ein Vielfaches beträgt. Durch diese Maßnahme vermindert man zwar die Induktivität der Drossel und damit ihren Widerstand für Wechselspannungen insgesamt, man erhöht aber die Konstanz dieses Wertes in Abhängigkeit von der Gleichstrom-Vormagnetisierung.

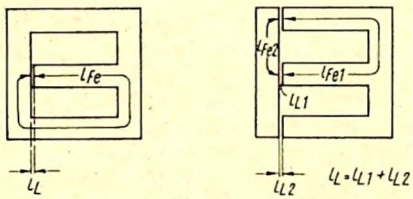


Bild 45
Eisenweglänge l_{Fe} und Luftspalt l_L bei verschiedenen Blechschnitten

Bild 45 zeigt die Reihenschaltung des Eisenweges und Luftspaltes für Kernbleche mit M- und EI-Schnitten. Letztere entsprechen den Verhältnissen bei UI- und EE-Schnitten. Es sind die doppelten Werte für den Luftspalt einzusetzen, weil die magnetischen Kraftlinien zweimal den Luftspalt durchlaufen.

In **Bild 46** ist dargestellt, wie sich die am Eingang einer Siebkette liegende Gleich- und Wechselspannung in der Siebkette und im Verbraucher aufteilen. Die Drossel, die in einer Siebkette liegt, wird einerseits vom Gleichstrom zum Verbraucher durchflossen, der sich ändern kann, andererseits von Wechselstrom infolge der restlichen Welligkeit. Der Gleichspannungsabfall soll gering sein, damit die Gleichspannung $U_{=}$ möglichst voll am Verbraucher liegt; der Wechselspannungsabfall $U_{\sim}$ soll groß sein, damit die restliche Wechselspannung, die am Siebkondensator und damit am Verbraucher liegt, sehr klein ist. Bild 46 zeigt den Idealfall, in welchem die ganze Wechselspannung an der Drossel, die ganze Gleichspannung am Verbraucher liegt.

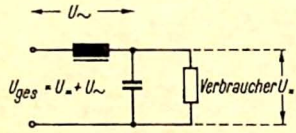


Bild 46 Gleich- und Wechselspannung an einer Netzdrossel in der Siebkette

Die Berechnung von Drosseln ist auf jeden Fall als *Proberechnung* zu betrachten. Sehr oft muß sie wiederholt werden, weil die angenommenen Daten nicht erreicht werden. Maßgebend für die Berechnung einer Drossel sind außer den vorgegebenen Werten und den Abmessungen eines gewählten Kernbleches und Blechpaketes die *Magnetisierungskurve*, d. h. die Abhängigkeit der Permeabilität (magnetischen Leitfähigkeit) μ und damit der magnetischen Flußdichte (Induktion) B von der magnetischen Feldstärke H. Die Magnetisierungskurve hängt von der Blechsorte ab, wobei in den neuen DIN-Normen nicht die ganze Kurve, sondern einige Festwerte für die Kennzeichnung einer Blechsorte festgelegt sind. Da man für die Berechnung zweckmäßig eine Magnetisierungskurve verwendet, ist als Beispiel in **Bild 47** eine für Dynamoblech IV von 0,35 mm Stärke gültige Kurve dargestellt.

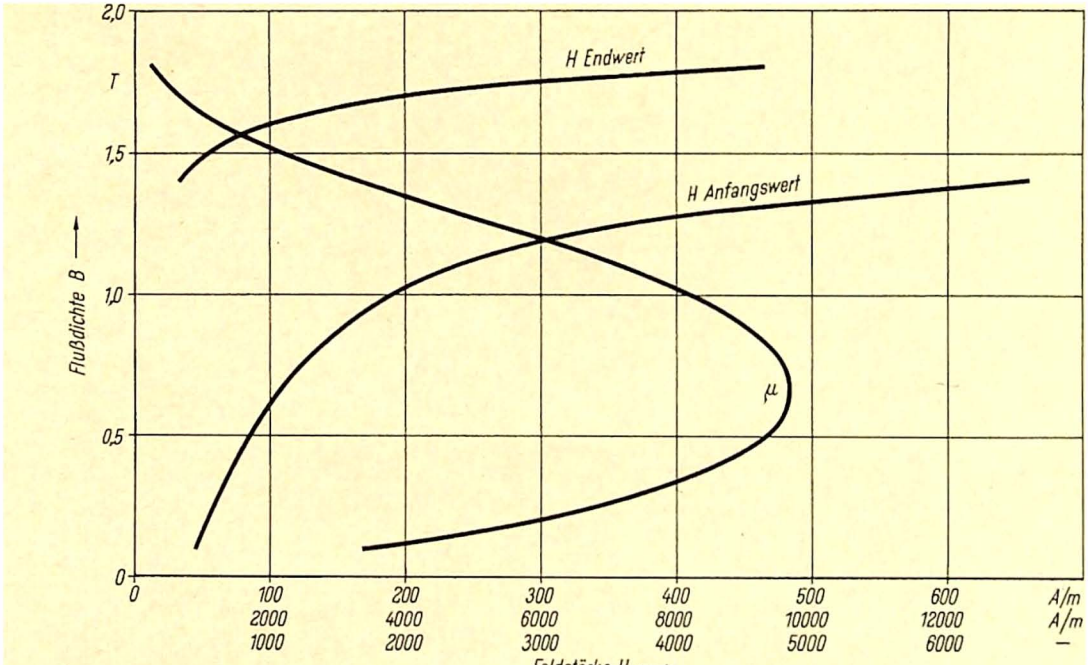


Bild 47 Beispiel einer Magnetisierungskurve für Dynamoblech IV × 0,35

4.2 Geforderte Daten

Bei einer Siebdrossel werden in der Regel nur drei Werte verlangt, die als Mindest- bzw. Höchstwerte gelten müssen, und zwar:

a) die erforderliche Induktivität in H . . . Mindestwert,
b) der zulässige Widerstand in Ω . . . Höchstwert,
c) der maximale Gleichstrom in A . . . Höchstwert

Aus b) und c) ergibt sich der höchstzulässige Gleichspannungsabfall. Aus a) kann man den Widerstand für Wechselstrom bei 50 Hz (Einweggleichrichtung) und 100 Hz (Vollweggleichrichtung) errechnen. Mit dem Widerstand für Wechselstrom gleicher Frequenz des Siebkondensators ergibt sich dann der Siebfaktor, der zu erreichen ist.

4.3 Drahtstärke

Wie bei den Transformatoren kann man sofort für jede Stromstärke den Drahtdurchmesser errechnen, wenn man eine bestimmte Stromdichte S zuläßt, die für die Erwärmung maßgebend ist. Je größer die Stromdichte, um so dünner wird aber der Draht, d. h. um so höher wird der Widerstand für den Gleichstrom. Oft wird man daher zur Verringerung des ohmschen Widerstands einen größeren Drahtdurchmesser wählen, als aus Gründen der Erwärmung notwendig wäre. Für die erste Rechnung sollte man mit der Stromdichte von 2,55 A/mm² beginnen, die bei Drosseln mit Sicherheit eine unzulässige Erwärmung verhindert. Für die Bestimmung der Drahtstärke kann man dann zunächst Tabelle 33 oder Bild 33 benützen. Aus Tabelle 37 entnimmt man dann gleich die Windungszahl je cm² n_F für die gewählte Drahtstärke, die man im nächsten Berechnungsgang braucht.

4.4 Wahl des Blechpaketes

Alle weiteren Berechnungen hängen von der Wahl der Blechsorte und des Blechpaketes ab. Hier soll grundsätzlich Dynamoblech IV × 0,35 betrachtet werden. Die Vielzahl der Blech-

schnitte und Blechpakete erschwert die Auswahl. Hinzu kommt der in jedem Fall zu beachtende Luftspalt.

Zunächst soll die weitere Rechnung durch die **Tabelle 47** erleichtert werden. Hier sind für die genormten M-Schnitte für eine Anzahl von Drahtstärken die nach Erfahrungswerten gefundenen Höchstwindungszahlen zusammengestellt. Die erforderliche Isolation ist dabei berücksichtigt.

Man kann nun mit der sich aus dem Strom ergebenden Drahtstärke die in einem Blech maximal mögliche Windungszahl aus Tabelle 47 entnehmen. Der weitere Rechnungsgang folgt dann aus dem Blechpaket mit dem gewählten Blech. Um eine überschlägige Zusammenstellung ohne eine solche Berechnung zu ermöglichen, wurde **Tabelle 48** aufgestellt. In ihr ist für die M-Schnitte angegeben, welche ohmschen Widerstände und Induktivitäten sich ergeben, wenn man eine bestimmte Drahtstärke gewählt hat und wenn man die sich daraus ergebende Höchstwindungszahl zugrunde legt. Ein bestimmter Luftspalt ist dabei gewählt.

Um aber für eine Anzahl M-Schnitte auch für verschiedene Windungszahlen die erforderlichen Daten zu berechnen, folgt eine weitere **Tabelle 49,** in der man folgende Werte findet [2]:
Luftspalt l_L in mm (hierbei sind andere Werte gewählt als in Tabelle 48),
Koeffizient L_W in µH zur Berechnung der Induktivität L durch Multiplikation mit dem Quadrat der Windungszahl w^2 und der Zahl 10^{-6}, um L in H zu erhalten.

$$L = L_W \cdot w^2 \cdot 10^{-6} \tag{25}$$

Man achte auf die abweichenden Luftspalt-Werte zwischen Tabelle 48 und 49, die erhebliche Abweichungen (Größenordnungen) der Induktivität ergeben. Größerer Luftspalt bedeutet in der Regel kleinere Induktivität, größerer magnetischer Widerstand aber mehr Unabhängigkeit von der Vormagnetisierung.

Tabelle 47

Maximale Windungszahlen für CuL-Drähte in Blechen mit M-Schnitten

Drahtdurchmesser	Höchstwindungszahl w für Blechschnitte							
d_{Cu} mm	M 20	M 30	M 42	M 55	M 65	M 74	M 85	M 102
0,05	6900	17 300	—	—	—	—	—	—
0,07	3800	9 500	19 800	—	—	—	—	—
0,10	2000	5 200	10 800	16 000	—	—	—	—
0,14	1100	2 700	5 700	8 500	11 900	—	—	—
0,20	570	1 400	2 900	4 400	6 100	7800	8300	
0,30	260	660	1 300	2 000	2 800	3600	3900	5900
0,40	150	390	800	1 200	1 600	2100	2200	3400
0,50	100	260	540	800	1 100	1400	1500	2300
0,60	70	180	370	560	780	990	1050	1600
0,70	55	135	280	420	590	750	800	1200
0,85	35	95	190	290	410	520	550	850
1,00	—	72	150	220	310	390	420	640
1,40	—	35	70	100	150	185	200	310
2,00	—	—	—	—	45	55	60	90

4.5 Windungszahl

Zur weiteren Berechnung einer Drossel wird eine bestimmte Windungszahl gewählt. Benutzt man keine der Tabellen 47 und 48, so wird man für die gefundene Drahtstärke bei einem gewählten Blechschnitt den Fensterquerschnitt F ermitteln und daraus die Höchstwindungszahl errechnen. Die Fensterquerschnitte findet man in den Tabellen 15 bis 19 und 20 bis 24. Dazu gibt Tabelle 33 die für jede Drahtstärke je cm² mögliche Windungszahl n_F. Die Windungszahl ist dann:

$$w = F \cdot n_F \qquad (26)$$

Tabelle 48

Widerstände und Induktivitäten für Blechpakete mit M-Schnitten für einige Drahtdurchmesser bei voll ausgenutztem Fensterquerschnitt

	Luft-spalt	Drahtdurchmesser d_{Cu} in mm					
		0,05	0,10	0,20	0,50	1,00	2,00
Kerne	l_L mm	Widerstände R_{Cu} in Ω Induktivitäten L_D in H					
M 20/5	0,3	2200	160	11	—	—	—
		5,5	0,4	0,04			
M 30/7	0,3	8500	600	43	1,2	0,3	—
		65	6	0,5	0,015	0,004	
M 30/10	0,3	9600	700	48	1,4	0,4	—
		100	9	0,7	0,022	0,006	
M 42/15	0,5	—	2000	250	4,3	0,3	—
			56	4,2	0,14	0,010	
M 55/20	0,5	—	4100	285	8,3	0,5	—
			216	16	0,5	0,04	
M 65/27	0,5	—	—	490	14	1	—
				43	1,4	0,1	
M 74/32	0,5	—	—	120	21	5,7	1,5
				14	2,6	0,7	0,2
M 85/32	1,0	—	—	134	24	6,5	1,7
				15	2,8	0,8	0,2
M 102/35	1,0	—	—	240	43	12	3
				36	6,9	2	0,5
M 102/52	1,0	—	—	280	50	14	3,4
				53	10	3	0,8

Tabelle 49

Koeffizient Lw zur Berechnung der Induktivität L für M-Kerne

Typ	M 42/15	M 55/20	M 65/27	M 74/32	M 85/32	M 102/35	M 102/52
Luftspalt l_L mm	0,5	0,5	1	2	2	2	2
Koeffizient L_w µH	0,26	0,36	0,45	0,54	0,61	0,67	0,97

4.6 Widerstand

Man hat nunmehr zu kontrollieren, ob diese Windungszahl nicht einen gegenüber der Annahme zu hohen Widerstand ergibt. Der Widerstand der Drossel berechnet sich nach der Gleichung

$$R_{Cu} = \frac{\varrho \cdot l_{Cu}}{q_{Cu}} \tag{27}$$

Der spezifische Kupferwiderstand ϱ ist mit $0{,}0175 \cdot 10^{-4}\ \Omega$ cm einzusetzen. Man achte darauf, daß der Drahtdurchmesser hier in cm eingesetzt werden muß!

l_{Cu} entspricht der mittleren Windungslänge l_w (in cm!), multipliziert mit der Windungszahl w, wobei sich q_{Cu} in bekannter Weise aus dem Drahtdurchmesser d_{Cu} (in cm!) ergibt. Setzt man alles in Gleichung (27) ein, so erhält man (in Ω)

$$R_{Cu} = \frac{4 \cdot \varrho \cdot l_w \cdot w}{d_{Cu}^2 \cdot \pi} = \frac{2{,}22 \cdot l_w \cdot w}{d_{Cu}^2} \cdot 10^{-6} \tag{28}$$

Die Bestimmung der mittleren Windungslänge erläutert **Bild 48.** Man erkennt, daß man sie grob aus den Blechabmessungen bestimmen kann:

$$l_w = 2\,(2y_F + z + b) \tag{29}$$

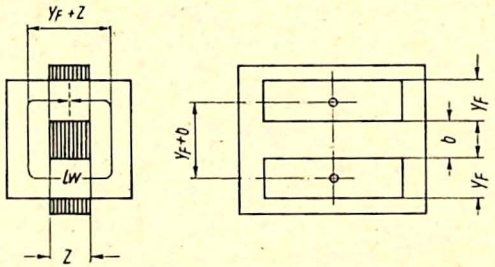


Bild 48 Bestimmung der mittleren Windungslänge

Bei der Gleichung (28) ist angenommen, daß die Wicklung vom Kern her gerechnet in allen Richtungen im Mittel den gleichen Abstand hat. Ist der sich ergebende Widerstand zu groß, so müssen weniger Windungen gewählt werden, wobei der Drahtdurchmesser noch entsprechend vergrößert werden kann, da ja nunmehr wieder Wickelraum frei ist. Wird aber dadurch, wie erst die weitere Rechnung zeigen kann, die Induktivität zu klein, so muß ein größeres Blechpaket gewählt werden.

4.7 Berechnung der Induktivität

Für eine beliebige Windungszahl, die natürlich untergebracht werden muß, können Tabelle 49 und Gleichung (25) benutzt werden.

Die allgemeine Berechnung, die im folgenden behandelt werden soll, ist schwierig und zeitraubend. Man muß für die weitere Berechnung von dem gewählten Kern und der Windungszahl ausgehen. Maßgebend sind die magnetischen Verhältnisse, nämlich der Zusammenhang zwischen Flußdichte (magnetische Induktion) B und magnetischer Feldstärke H.

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H \tag{30}$$

Nach modernen Gesichtspunkten wird die Flußdichte (magnetische Induktion) B in Tesla ($T = Vs\,m^{-2}$), die magnetische Feldstärke H in Am^{-1} und den Induktionskoeffizient μ_0 mit dem Wert

$$\mu_0 = 4\,\pi \cdot 10^{-7}\ H\ m^{-1}$$

festgelegt. Zur Information soll noch dienen, daß das Henry (H) auch als VsA^{-1} dargestellt werden kann. Setzt man diese Einheiten in Gleichung (30) ein, so sieht man, daß die linke und rechte Seite die gleichen Einheiten aufweisen. μ_r ist eine dimensionslose Zahl. Sie hat für Vakuum und angenähert auch für Luft den Wert 1.

Wie bereits ausgeführt, muß man Luftspalt und Eisenweg als in Reihe geschaltet betrachten. Dementsprechend kann man Gleichung (30) für Eisen und für Luft aufstellen:

$$B_{Fe} = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H_{Fe} \tag{31}$$

$$B_L = \mu_0 \cdot H_L \tag{32}$$

Die magnetische Feldstärke H ergibt sich aus dem durch die Wicklung fließenden elektrischen Strom I, der Windungszahl w und der Weglänge der Kraftlinien l_M zu

$$H = \frac{w \cdot I}{l_M} \tag{33}$$

Wieder kann man die erforderliche Amperewindungszahl, d. h. das Produkt aus Windungszahl und Strom, für die Errechnung der Feldstärken für den Eisenanteil und den Luftanteil aufteilen:

$$w \cdot I = w_{Fe} \cdot I + w_L \cdot I \tag{34}$$

Durch Umwandlung von Gleichung (33) ergibt sich dann

$$w_{Fe} \cdot I = H_{Fe} \cdot l_{Fe} \tag{35}$$

$$w_L \cdot I = H_L \cdot l_L \tag{36}$$

Man muß noch einen Begriff einführen, den magnetischen Fluß Φ, der in Weber (Wb = Vs) gemessen wird. Der Fluß ist im ganzen Kreislauf durch Eisen und Luft konstant. Er ergibt sich jeweils aus dem Produkt von Querschnitt und magnetischer Flußdichte:

$$\Phi_{Fe} = q_{Fe} \cdot B_{Fe} \tag{37}$$

$$\Phi_L = q_L \cdot B_L \tag{38}$$

Man hat nun im Luftquerschnitt eine gewisse Streuung, d. h. der Querschnitt für den Fluß Φ_L in Luft wird größer angenommen, und zwar:

$$q_{Fe} = 0{,}8 \cdot q_L \tag{39}$$

Da der Fluß Φ_{Fe} gleich dem Fluß Φ_L ist, verhalten sich auch die Flußdichten entsprechend (umgekehrt):

$$B_L = 0{,}8\, B_{Fe} \tag{40}$$

Aus Gleichung (36) gewinnt man durch Einsetzen von Gleichung (32) und Gleichung (40) die folgende Beziehung für die Amperewindungszahl für Luft:

$$w_L \cdot I = \frac{0{,}8\, l_L}{\mu_0} \cdot B_{Fe} \tag{41}$$

Man achte sehr genau auf die Einheiten (vgl. Anhang). In Gleichung (41) müßte man den Luftspalt l_L in m (Meter!) einsetzen, wenn man die Induktionskonstante entsprechend wählt. Setzt man l_L entsprechend den Tabellen in mm ein, so ist die rechte Seite noch mit 10^{-3} zu multiplizieren.

Aus magnetischer Weglänge, d. h. Eisenweglänge l_{Fe} oder Luftspaltbreite l_L, und dem Querschnitt für den Fluß, d. h. Eisenquerschnitt q_{Fe} und Querschnitt q_L im Luftspalt, kann man den für die Induktivität maßgebenden magnetischen Widerstand errechnen. Der Gesamtwiderstand R_M setzt sich aus der Reihenschaltung der Teilwiderstände R_{Fe} und R_L zusammen:

$$R_M = R_{Fe} + R_L \tag{42}$$

Die Einzelgrößen ergeben sich zu

$$R_{Fe} = \frac{l_{Fe}}{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot q_{Fe}} \tag{43}$$

$$R_L = \frac{l_L}{\mu_0 \cdot q_L} = \frac{0{,}8\, l_L}{\mu_0 \cdot q_{Fe}} \tag{44}$$

Daraus wieder die Summe:

$$R_M = \frac{1}{\mu_0 \cdot q_{Fe}} \cdot \left(\frac{l_{Fe}}{\mu_r} + 0{,}8\, l_L \right) \tag{45}$$

Wieder muß darauf geachtet werden, daß alle Längen und Querschnitte in m einzusetzen sind, wobei sich R_M in A/Vs

$= H^{-1}$ (1/Henry) ergibt. Durch Vergleich mit Gleichung (25) sieht man, daß $R_M = 1/L_w$ ist und man erhält

$$L = \frac{w^2}{R_M} \tag{46}$$

Damit wäre man am Ziel und könnte feststellen, ob die Induktivität bei der gewählten Windungszahl und dem ausgesuchten Blechpaket den Bedingungen nach Abschnitt 4.2 entspricht. Ebenso ist es möglich, für verschiedene Belastungsströme die Amperewindungen festzustellen, daraus den magnetischen Widerstand R_M und die sich für jeden Strom ergebende Induktivität.

Für die tatsächliche Berechnung ist allerdings noch eine Schwierigkeit zu überwinden, die im folgenden Abschnitt behandelt werden soll. Ohne die Überlegungen des folgenden Abschnitts wären zu viele zeitraubende Proberechnungen erforderlich.

4.8 Darstellung der magnetischen Induktion als Funktion der Gesamtamperewindungszahl

Aus Abschnitt 4.7 ist die Berechnung der Induktivität praktisch noch nicht möglich, da man zwar die Gesamtamperewindungszahl kennt, aber über ihre Aufteilung für Luftspalt und Eisenweg nichts weiß. Hierfür ist die Aufstellung einer Tabelle erforderlich, wie sie in **Tabelle 50** als Beispiel angegeben ist.

Die Zahlenwerte für diese Tabelle 50 muß man der allgemeinen Magnetisierungskurve für eine bestimmte Blechsorte entnehmen. Eine solche Kurve wurde in Bild 47 bereits als Beispiel dargestellt. Sie soll den Überlegungen für Tabelle 50 auch hier dienen. Um das Beispiel zu erläutern, wurden nur sechs Werte entnommen. Man kann eine größere Genauigkeit erhalten, wenn man die Tabelle mit mehr Werten aufstellt.

Um den Rechnungsgang zu erleichtern, falls man die Art der Rechnung nach Tabelle 50 für andere Blechpakete benutzen will, ist eine weitere **Tabelle 51** aufgestellt, die für Blechpakete mit

M-Schnitten die Aufteilung der Amperewindungszahl nach Eisen- und Luftanteil mit einer größeren Zahl von Werten enthält.

4.9 Gesamt-Rechnungsgang

Da die Rechnung, je weniger Tabellen man benützen will, um so verwickelter ist, soll nachstehend ein Beispiel durchgerechnet werden. Hierfür ist zur besseren Übersicht eine weitere **Tabelle 52** angelegt. Sie enthält die laufende Nummer für Hinweise, die gegebene oder gesuchte Größe, die Berechnung oder den Entnahmehinweis, das Formelzeichen, den Wert und die Einheit, in welcher die Größe mit dem angegebenen Wert aufgeführt ist.

Tabelle 50

Magnetische Induktion B als Funktion der Gesamtamperewindungszahl $I \cdot w$ für Kern M 65/27, Luftspalt 0,5 mm

Formelzeichen	Einheit	Kern M 65/27					
B_{Fe}	T	0,5	1,0	1,5	1,6	1,7	1,8
H_{Fe}	Am^{-1}	85	192	1060	2000	4200	9300
μ_r	—	4700	4150	1100	640	320	150
$I \cdot w_L$	A	150	300	450	480	510	540
$I \cdot w_{Fe}$	A	13,1	29,4	163,2	304,0	646,0	1432,0
$I \cdot w$	A	163,1	329,4	613,2	784,0	1156,0	1972,0

Tabelle 51 Aufteilung der Amperewindungszahl $I \cdot w$ für verschiedene magnetische Flußdichten (Induktionen) B für Kerne mit M-Schnitten bei Dynamoblech IV × 0,35

Magnetische Flußdichte (Induktion)	Feldstärke	Relative Permeabilität	Amperewindungszahl in Luft		M 42		M 55	
B_{Fe}	H_{Fe}	μ_r	$I \cdot w_L$		$I \cdot w_{Fe}$	$I \cdot w$	$I \cdot w_{Fe}$	$I \cdot w$
T	Am^{-1}	—	A		A	A	A	A
			Luftspalt					
—	—	—	0,5 mm	1 mm	0,5 mm		0,5 mm	
0,1	46	1700	30	60	4,6	34,6	5,9	35,9
0,2	57	2800	60	120	5,8	65,8	7,4	67,4
0,3	65	3700	90	180	6,6	96,6	8,4	98,4
0,4	74	4300	120	240	7,5	127,5	9,6	129,6
0,5	85	4700	150	300	8,6	158,6	12,5	172,5
0,6	99	4800	180	360	10,0	190	12,9	192,9
0,7	116	4850	210	420	11,8	221,8	15,1	225,1
0,8	136	4700	240	480	13,8	253,8	17,7	257,7
0.9	158	4500	270	540	16,1	286,1	20,6	290,6
1,0	192	4150	300	600	19,5	319,5	24,8	324,8
1,1	237	3700	330	660	24,1	354,1	30,8	360,8
1,2	320	3000	360	720	32,6	392,6	41,6	401,6
1,3	448	2300	390	780	45,8	435,8	58,3	448,3
1,4	660	1700	420	840	67,3	487,3	85,8	505,8
1,5	1060	1100	450	900	108,2	558,2	137,7	587,7
1,6	2000	640	480	960	204,0	684	260,0	740,0
1,65	3000	440	495	990	306,0	801	390,0	885,0
1,7	4200	320	510	1020	428,4	938,4	546,0	1056,0
1,75	6150	230	525	1050	627,3	1152,3	800,0	1325,0
1,8	9300	150	540	1080	948,6	1488,6	1209,0	1749,0

Fortsetzung von Tabelle 51

Blech – Schnitte

M 65		M 74		M 85		M 102	
$I \cdot w_{Fe}$	$I \cdot w$	$I \cdot w_{Fe}$	$I \cdot w$	$I \cdot w_{Fe}$	$I \cdot w$	$I \cdot w_{Fe}$	$I \cdot w$
A	A	A	A	A	A	A	A
Luftspalt l_L							
0,5 mm		1 mm		1 mm		1 mm	
7,0	37,0	8,0	68,0	9,1	69,1	10,9	70,9
8,8	68,8	9,9	129,9	11,3	131,3	13,5	133,5
10,0	100,0	11,4	191,4	12,9	192,9	15,4	195,4
11,4	131,4	12,9	252,9	14,6	254,6	17,6	257,6
13,1	163,1	14,9	314,9	16,8	316,8	20,2	320,2
15,2	195,2	17,3	377,3	19,6	379,6	23,5	383,5
17,8	227,8	20,3	440,3	22,9	442,9	27,6	447,6
20,5	260,5	23,8	503,8	26,8	506,8	32,4	512,4
24,3	294,3	27,6	567,6	31,3	571,3	37,6	577,6
29,4	329,4	33,6	633,6	37,8	637,8	45,5	645,5
36,5	366,5	41,5	701,5	46,7	706,7	56,5	716,5
49,3	409,3	56,0	776,0	63,4	783,4	76,2	796,2
69,1	459,1	78,5	858,5	88,9	868,9	106,8	886,8
101,5	521,5	115,5	955,5	108,0	948,0	157,0	997,0
163,2	613,2	185,5	1085,5	210,0	1110,0	252,0	1152,0
304,0	784,0	350,0	1310,0	396,0	1356,0	475,2	1435,2
460,2	955,2	525,1	1515,1	594,0	1584,0	714,0	1704,0
646,0	1156,0	735,2	1755,2	831,0	1851,0	1000,0	2020,0
946,0	1471,0	1076,0	2126,0	1217,0	2267,0	1521,0	2571,0
1432,0	1972,0	1628,0	2708,0	1839,0	2919,0	2320,0	3400,0

Tabelle 52

Berechnungsbeispiel für eine Netzdrossel

Nr.	Größe	Berechnung	Formelzeichen	Wert	Einheit
1	Widerstand	Gewünscht	R_{Cu}	500	Ω
2	Strom	Gewünscht	I	50	mA
3	Induktivität	Gewünscht	L	30	H
4	Drahtstärke	Entnommen aus Tabelle 33 oder Bild 37 für eine Stromdichte S = 2,55 A/mm²	d_{Cu}	0,16	mm
5	—	Wahl des Blechpaketes aus Tabelle 41: *M 65/27* Daraus			
5a	Stegbreite		b	2,0	cm
5b	Paketstärke		z	2,7	cm
5c	Fensterhöhe		y_F	1,25	cm
5d	Fensterquerschnitt		F	5,6	cm²
5e	Eisenquerschnitt		q_{Fe}	5,25	cm²
5f	Mittlere Eisenweglänge		l_{Fe}	15,4	cm
5g	Luftspalt	Tabelle 48 für M 65/27	l_L	0,5	mm
6	Mittlere Windungslänge	Gleichung (29)	l_w	14,4	cm
		Für einen Drahtdurchmesser von 0,2 mm und Kern M 65/27 kann man aus *Tabelle 48* unmittelbar ablesen.	R_{Cu}	490	Ω
		(Luftspalt: l_L = 0,5 mm)	L	43	H
6	Windungszahl je cm²	Tabelle 33 für Drahtstärke d_{Cu} = 0,16 mm	n_F	2500	cm⁻²
(7)	Windungszahl	Gl. (26) $w = F \cdot n_F$ und aus Nr. 5d	(w)	(14000)	—

Fortsetzung von Tabelle 52

Nr.	Größe	Berechnung	Formelzeichen	Wert	Einheit
(8)	Widerstand	Gl. (28) Da der Widerstand zu groß ist, muß mit entsprechend kleinerer Windungszahl weitergerechnet werden	(R_{Cu})	(1750)	Ω
7	Windungszahl	Aus Nr. 1 und Nr. (7, 8) folgt	(w)	(4000)	—
8	Widerstand	Gl. (28)	R_{Cu}	500	Ω
9	Amperewindungen	Gl. (34) linke Seite durch Einsetzen Nr. 2 u. Nr. 7 Aufteilung der Amperewindungen aus Tabelle 51 für Kern 65 (abgerundet)	$I \cdot w$	200	A
10	Amperewindungen in Luft		$I \cdot w_L$	20	A
11	Amperewindungen in Eisen		$I \cdot w_{Fe}$	180	A
12	Relative Permeabilität	Aus Tabelle 51 (geschätzt) oder Bild 47	μ_r	4800	—
13	Magnetischer Widerstand des Eisens	Gl. (43)	R_{Fe}	50 000	H^{-1}
14	Magnetischer Widerstand der Luft	Gl. (44) für $l_L = 0{,}5$ mm	R_L	600 000	H^{-1}
15	Magnetischer Widerstand	Gl. (45), $R_M = R_{Fe} + R_L$	R_M	650 000	H^{-1}
16	Induktivität	Gl. (46)	L	25	H

5 Bauvorschriften für einige Anwendungen

Als Erläuterung für die Anfertigung von Wickelbauvorschriften für Netztransformatoren und Drosseln dienen folgende fünf Beispiele:

5.1 Netztransformator für Hochspannungsnetzteil

Die Schaltung des Transformators nebst der Gleichrichtung für positive und negative Hochspannung zum Betrieb einer Elektronenstrahl-Röhre zeigt **Bild 49.** Der Transformator enthält auch eine Heizwicklung für die Röhre, die auf einer Gleichspannung von — 3 kV liegt. Die Wickelbauvorschrift ist in der **Tabelle 53** zusammengestellt.

5.2 Transformator für Heiz- und Anodenspannungsnetzteil

Einen Transformator, dessen zwei Wicklungen mit Gleichrichtern versehen sind und der außerdem eine Heizwicklung enthält, zeigt **Bild 50.** Die zugehörige Wickelbauvorschrift zeigt **Tabelle 54.**

Bei diesem Transformator ist eine Wicklung höherer Spannung mit einer Belastung von 40 mA für die Anodenspannungsversorgung und eine Wicklung für eine Belastung von 1 A für Gleichstromheizung vorgesehen. Außerdem ist noch eine auf Hochspannung liegende Heizwicklung vorhanden.

5.3 Transformator für röhrenstabilisierten Netzteil

In dieser Wickelbauvorschrift nach **Tabelle 55** ist ein Transformator berechnet, der zur Abgabe einer hohen Leistung für röhrengeregelte Netzteile geeignet ist. Die Schaltung zeigt **Bild 50.** Der Transformator enthält drei Sekundärwicklungen, von denen zwei nur wechselstrommäßig belastet sind.

Tabelle 53

Wickelbauvorschrift für Hochspannungstransformator

Kern M 102a *Abmessung:*
Paketstärke: ca. 35 mm
Werkstoff: Dynamoblech IV Stärke: 0,35 mm Gewicht 2,1 kg
Schichtung wechselsinnig

Nr. der Wicklung	Draht Ø Cu	Anfang Abgriff Ende	Windung	Farbe	Anschluß Nr.	Bemerkungen (Lagenisolation usw.)
I	0,35	A E	640		1 3	Grundisolation 3 × 0,05 Hostaphan, je Lage 1 × 0,01 Hostaphan, Deckisolation: 3 × 0,05 Hostaphan
Schirmwicklung					5	Deckisolation 3 × 0,05 Hostaphan
II	0,1	A E	11400	schwarz blau	freiherausführen, 30 cm lang mit Hochspannungsschlauch isoliert	Je Lage 1 × 0,01 Hostaphan Deckisolation 5 × 0,05 Hostaphan
III	0,4	A E	23	gelb gelb	„	Deckisolation 5 × 0,05 Hostaphan

Achtung: Wicklung II und III müssen in jedem Fall mindestens 7 mm Abstand vom Spulenkörperrand haben.
Verwendung: Hochspannungsnetzteil

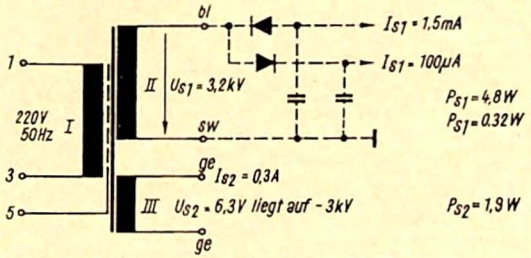


Bild 49 Netztransformator für Hochspannung

Tabelle 54

Wickelbauvorschrift für Transformator zur Erzeugung von Heiz- und Anodenspannung

Kern M 74/32 *Abmessung:*
Paketstärke: ca. 32 mm Gewicht: 0,94 kg
Werkstoff: Dynamoblech IV, Stärke 0,35 mm
Schichtung: wechselsinnig

Nr. der Wicklung	Draht ∅ Cu	Anfang Abgriff Ende	Windung	Farbe	Anschluß Nr.	Bemerkungen (Lagenisolation usw.)
I	0,32	A E	1050		1 3	Je Lage 1 × 0,05 Lackpapier Deckisolation 3 × 0,1 Lackpapier
Schirmwicklung					5	Deckisolation 3 × 0,1 Lackpapier
II	0,16	A E	1880		10 11	Je Lage 1 × 0,05 Lackpapier Deckisolation 3 × 0,1 Lackpapier
III	0,57	A M E	116		12 13 14	Je Lage 1 × 0,05 Lackpapier Deckisolation 3 × 0,05 Hostaphan
IV	0,55	A E	37		frei herausführen, 20 cm lang mit Hochspannungsschlauch, isoliert	Deckisolation 3 × 0,05 Hostaphan

Verwendung: Heiz- und Anodenspannungsnetzteil

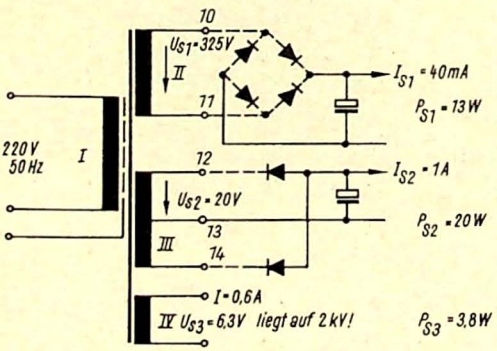


Bild 50
Transformator für Heiz- und Anodenspannung

Tabelle 55

Wickelbauvorschrift für Transformator von röhrengeregeltem Netzgerät

Kern M 65/27 *Abmessung*:
Paketstärke: ca. 27 mm Gewicht: 0,6 kg
Werkstoff: Dynamoblech IV Stärke :0,35 mm
Schichtung: wechselsinnig

Nr. der Wicklung	Draht ∅ Cu	Anfang Abgriff Ende	Windung	Farbe	Anschluß Nr.	Bemerkungen (Lagenisolation usw.)
I	0,23	A E	1425		1 3	Je Lage 1 × 0,05 Lackpapier Deckisolation 3 × 0,1 Lackpapier
Schirmwicklung					5	Deckisolation 3 × 0,1 Lackpapier
II	0,18	A E	1980		6 7	Je Lage 1 × 0,05 Lackpapier Deckisolation 3 × 0,1 Lackpapier
III	0,39	A E	170		8 9	Je Lage 1 × 0,05 Lackpapier Deckisolation 3 × 0,1 Lackpapier
IV	0,39	A E	49		11 12	Deckisolation 3 × 0,1 Lackpapier

Verwendung: Netzteil (röhrenstabilisiert)

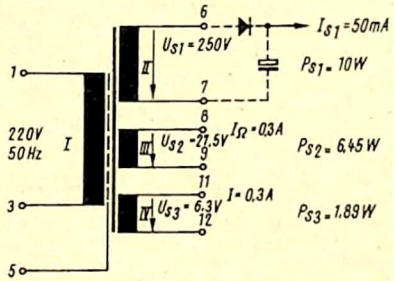


Bild 51 Transformator für röhrenstabilisiertes Netzteil

Tabelle 56
Wickelbauvorschrift für Transformator eines geregelten, kurzschlußfesten Doppelnetzteiles in Halbleitertechnik (— 12 V/2 A und + 6 V/2 A)

Kern M 102/35 *Abmessung:*
Paketstärke: ca. 36 mm Gewicht: 2,1 kg
Werkstoff: Dynamoblech IV Stärke: 0,35 mm
Schichtung: wechselsinnig

Nr. der Wicklung	Draht Ø Cu	Anfang Abgriff Ende	Windung	Farbe	Anschluß Nr.	Bemerkungen (Lagenisolation usw.)
I	0,55	A E	710		30 cm lang frei herausführen	je Lage 1× 0,05 Lackpapier Deckisolation 3× 0,1 Lackpapier
Schirmwicklung					dto.	Deckisolation 3× 0,1 Lackpapier
II	0,2	A E	17		1 2	dto.
III	0,2	A E	17		4 5	dto.
IV	1,2	A E	44		10 11	dto.
V	1,2	A E	62		13 14	dto.

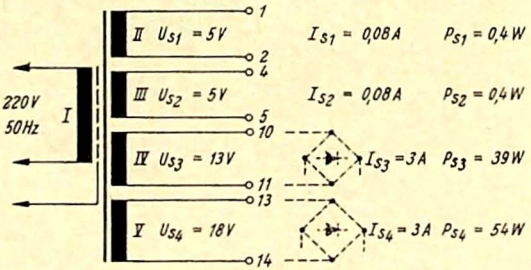


Bild 52 Transformator für Halbleiter-Doppel-Netzteil mit Stabilisierung und Kurzschlußsicherung

Tabelle 57

Wickelbauvorschrift für Netzdrossel

Kern M 55/20 *Abmessung:*
Paketstärke: ca. 20 mm Gewicht: 0,321 kg
Werkstoff: Dynamoblech Stärke: 0,35 mm Luftspalt: 0,5 mm
Schichtung: gleichsinnig

Nr. der Wicklung	Draht Ø Cu	Anfang Abgriff Ende	Windung	Anschluß Nr.	Bemerkungen (Lagenisolation usw.)
I	0,5	A E	800	1 3	Ohne Lagenisolation Deckisolation 2 × 0,1 Lackpapier

Verwendung: Netzdrossel

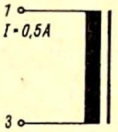


Bild 53 Netzdrossel

Tabelle 58

Wickelbauvorschrift für 400-Hz-Transformator

Kern M 55 *Abmessung:*
Paketstärke: ca. 20 mm Gewicht: 0,321 kg
Werkstoff: Dynamoblech IV Stärke: 0,35 mm
Schichtung: wechselsinnig

Nr. der Wicklung	Draht Ø Cu	Anfang Abgriff Ende	Windung	Farbe Anschluß Nr.	Bemerkungen (Lagenisolation usw.)
I	0,7	A E	21	1 3	je Lage 1 × 0,05 Lackpapier Deckisolation 3 × 0,1 Lackpapier
II	0,11	A M E	590	6 8 10	je Lage 1 × 0,05 Lackpapier Deckisolation 3 × 0,1 Lackpapier

Verwendung: Transformator für 400 Hz

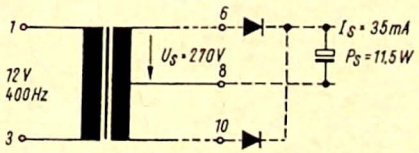


Bild 54 Transformator für 400 Hz

5.4 Transformator für transistorgeregeltes Netzgerät

Bild 52 bringt eine Schaltung, die die Herstellung eines Transformators für einen Netzteil in Halbleitertechnik ermöglicht. Der Netzteil kann für zwei stabilisierte kurzschlußfeste Spannungen ausgelegt werden. Die Entnahme von — 12 V/2 A und + 6 V/2 A ist möglich. Beide Spannungen sind gleichzeitig für Halbleiterschaltungen universeller Art erforderlich. Die zugehörige Wickelbauvorschrift ist in **Tabelle 56** zusammengestellt.

5.5 Netzdrossel

Bild 53 zeigt die Schaltung einer Netzdrossel für einen Strom von 0,5 A. Die zugehörige Wickelbauvorschrift ist in **Tabelle 57** zusammengestellt.

5.6 Transformator für 400 Hz

Es ist bisher noch nicht ausdrücklich von Transformatoren für 400 Hz gesprochen worden. Die Berechnung läßt sich jedoch leicht durchführen, wenn man in den entsprechenden Gleichungen für die Frequenz den Wert 400 einsetzt. Man übersieht sofort, daß der Kernquerschnitt, d. h. die erforderliche Eisenmenge, wesentlich geringer wird.

Da 400-Hz-Transformatoren eine gewisse Bedeutung haben, ist in **Bild 54** die Schaltung eines Gleichrichterteiles dargestellt, der von einer 12-V-Speisequelle bei einer Frequenz von 400 Hz ausgeht und eine höhere Spannung bei einer Stromentnahme von 35 mA liefert. Die entsprechende Wickelbauvorschrift ist in **Tabelle 58** zusammengestellt.

6 Prüfung von Netztransformatoren

6.1 Isolationsprüfung

Transformatoren und Drosseln müssen vor dem Einbau in Geräte sorgfältig geprüft werden. Die erste Prüfung dient der Isolation und dem Durchgang. Im einfachsten Fall genügt die Isolationsprüfung mit einem Durchgangsprüfer. Jede Wicklung wird gegen jede andere und gegen den Kern untersucht, ob Stromdurchgang vorhanden ist oder nicht. Selbstverständlich muß der Widerstand zwischen den Wicklungen den Wert *Unendlich* haben. Die Prüfung ist um so sicherer, je höher die für die Durchgangsprüfung verwendete Spannung ist.

Der Durchgang kann mit Gleich- oder Wechselspannung gemessen werden. Nach der VDE-Vorschrift muß die Isolierung mit hohen Prüfspannungen geprüft werden. Das ist dann besonders wichtig, wenn etwa unerfahrene Personen mit den Transformatoren in Berührung kommen könnten.

6.2 Durchgangsprüfung

Jede Wicklung sollte mit einem Widerstandsmesser auf den ohmschen Widerstand und damit auf Durchgang geprüft werden. Man wird bei dieser Gelegenheit meist feststellen können, ob der Widerstand der Wicklung einen Wert hat, der mit der Rechnung übereinstimmt. Für die Rechnung sind die mittlere Windungslänge, die Windungszahl, der Drahtdurchmesser und der spezifische Kupferwiderstand zugrunde zu legen. Die mittlere Windungslänge ist bei mehreren Wicklungen natürlich von der Lage der Wicklung abhängig und nicht mit der mittleren Windungslänge einer Drossel mit einer einzigen das Fenster füllenden Wicklung zu verwechseln.

6.3 Leerlaufstrom

Der Leerlaufstrom wird bei dem unbelasteten Transformator durch Anschluß an das Netz nach **Bild 55** gemessen. Er sollte 10% des berechneten Primärstromes nicht überschreiten. Bei

einer Leistung einschließlich Verlusten von z. B. 50 VA und 220 V Netzspannung sollte der Leerlaufstrom 30 mA nicht überschreiten. Bei zu hohem Leerlaufstrom muß auf Windungsschluß in irgend einer Wicklung geschlossen werden.

6.4 Betriebsprüfung

Bei der Betriebsprüfung mißt man zuerst alle Sekundärspannungen im Leerlauf. Sie werden in der Regel um mindestens 10% höher liegen als die gewünschten Spannungen unter Last. Die für jede Wicklung gemessenen Spannungen trägt man in eine Tabelle ein.

Will man den voll belasteten Transformator messen, so muß man alle Wicklungen belasten. Dabei sollte bei Gleichrichtung die betriebsmäßige Schaltung mit Siebkette gewählt werden. Diese wird am Siebkondensator mit einem ohmschen Widerstand belastet, der sich aus dem Quotienten von gewünschter Spannung und zu entnehmendem Strom ergibt. Bei geregelten Netzgeräten muß hier mit der Spannung am Regeleingang und dem Strom einschließlich dem Verbrauch in der Regelschaltung, Stabilisatoren usw. gerechnet werden.

Heizwicklungen für Wechselspannung sind ebenfalls mit dem Verbrauch entsprechenden Widerständen zu belasten. Zu messen sind der Primärstrom und alle Sekundärspannungen sowie die Spannungen nach der Gleichrichtung und Glättung. Alle diese Werte werden ebenfalls in die Tabelle eingetragen und ergeben einen guten Überblick über die Genauigkeit der Berechnung. Vor einer Serienfertigung müssen diese Messungen an den ersten Mustern auf jeden Fall erfolgen.

6.5 Prüfung auf Spannungsfestigkeit

Eine Prüfung auf die Spannungsfestigkeit hat nach VDE 0550 Teil 1/3.59, 5.25 zu erfolgen. In der genannten Vorschrift findet man alle erforderlichen Prüfspannungswerte. Besonders wichtig sind Prüfungen der Spannungsfestigkeit der Primärwicklung gegen die anderen Wicklungen und den Kern. Die Mindestprüfspannung ist nach dieser Vorschrift eine effektive Wechselspannung von 1500 Volt.

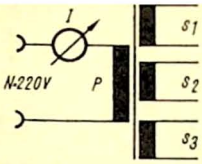


Bild 55 Messung des Leerlaufstromes von Transformatoren

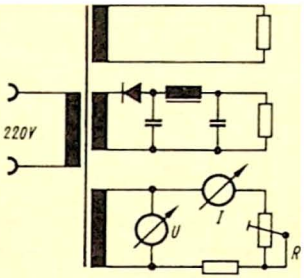


Bild 56 Messung der Spannungs-Strom-Kennlinie eines Transformators

Man beachte, daß bei dieser Spannungsprüfung alle Windungen einer Wicklung die gleiche Spannung gegen eine andere Wicklung oder Kern haben, also untereinander nicht mit Überspannung geprüft werden.

Sollen auch die Windungen gegeneinander geprüft werden, so verwendet man erhöhte Spannungen mit hoher Frequenz. Man legt primär beispielsweise die doppelte Spannung von 440 V mit einer Frequenz von 400 Hz an. Dann entstehen auch sekundär die doppelten Spannungen. Aber darüber hinaus liegt an jeder Windung und zwischen zwei Windungen oder zwischen beliebigen Teilen der Wicklung jeweils die doppelte Spannung.

6.6 Spannungs-Strom-Kennlinie

Es kann zweckmäßig sein, zu untersuchen, wie die Spannung einer Wicklung sich mit zunehmender Belastung verändert. Die anderen Wicklungen werden dabei normal fest belastet. Die zu prüfende Wicklung wird mit einer veränderbaren Last versehen. Bei jeder Last, die in Ohm gemessen wird, stellt man die Spannung fest und errechnet den Strom, falls er nicht selbst nach **Bild 56** gemessen wird. Man achte darauf, daß ein Restwiderstand bleiben muß, da ein glatter Kurzschluß den Transformator zerstören kann.

7 Anhang

7.1 Formelzeichen

Man achte beim Einsetzen von Werten in eine Gleichung auf die *Einheit*. Aus Gründen der Übersicht sind Werte, insbesondere von Drähten und Blechen, in cm oder mm angegeben. Man muß jeweils vor dem Einsetzen prüfen, ob diese Einheit oder die Grundeinheit, abgeleitet von m, kg, s, A oder V, verlangt wird. Im Text wird jeweils darauf hingewiesen. In der **Tabelle 60** sind die benutzten Formelzeichen und die angewandten Einheiten zusammengestellt.

7.2 Größen und Einheiten

Für den Rechnungsgang ist es von großer Bedeutung, die richtigen Einheiten zu wählen. Das heute international in der Elektrotechnik angewandte System ist das Vierersystem mit vier Grundgrößenarten:

m ... Meter als Einheit für die Länge
s ... Sekunde als Einheit für die Zeit
kg ... Kilogramm als Einheit für die Masse
A ... Ampere als Einheit für den elektrischen Strom
oder V ... Volt als Einheit für die Spannung.

Hieraus lassen sich folgende für die Elektrotechnik wichtige Größen im giorgischen Maßsystem ableiten, die mit ihren Einheiten in **Tabelle 61** angegeben sind [3].

Aus diesen Einheiten läßt sich weiterhin eine große Zahl bekannter Größen ableiten. Für das in diesem Buch behandelte Thema sind wichtig:

Für den magnetischen Fluß Φ : 1 Maxwell (M) $= 10^8$ Wb
für die magnetische Feldstärke H: 1 Oersted (Oe) $= 79{,}577\ \mathrm{Am}^{-1}$
für die magnetische Induktion B: 1 Gauß (G) $= 10^{-4}$ T

Ferner ist der Wert der magnetischen Leitfähigkeit im luftleeren Raum, abgeleitet aus der internationalen Definition der

Tabelle 60

Verzeichnis der benutzten Formelzeichen

Formelzeichen	Benennung	Einheit
b	Stegbreite	cm
B	Flußdichte (magnetische Induktion) allgemein	T
B_{Fe}	Flußdichte (magnetische Induktion) im Eisen	$T(Vsm^{-2})$
B_L	Flußdichte in Luft	T
d_{Cu}	Drahtdurchmesser	mm
f	Frequenz	Hz
F	Fensterquerschnitt	cm^2
F_n	Platzbedarf (Querschnitt) für eine Wicklung	cm^2
F_p	Platzbedarf der Primärwicklung	cm^2
F_s	Platzbedarf der Sekundärwicklung	cm^2
G_{Fe}	Eisengewicht	p
H	Magnetische Feldstärke allgemein	Am^{-1}
H_{Fe}	Magnetische Feldstärke im Eisen	Am^{-1}
H_L	Magnetische Feldstärke im Luftspalt	Am^{-1}
I_p	Primärstrom	A
I_s	Sekundärstrom	A
I_{sb}	Strom bei Brückengleichrichtung	A
I_{se}	Strom bei Eintaktgleichrichtung	A
I_{sg}	Strom bei Gegentaktgleichrichtung	A
l_{Cu}	Drahtlänge	cm
l_{Fe}	Mittlere Eisenweglänge	cm
l_L	Luftspalt im Eisenkern (Achtung: in Gl. (36) usw. in m einsetzen)	mm
l_M	Weglänge der magnetischen Kraftlinien	m
l_w	Mittlere Windungslänge	cm
L	Induktivität	H
L_w	Induktivitäts-Koeffizient	µH
n	Windungszahl je Spannungseinheit	V^{-1}
n_F	Windungszahl einer Drahtsorte für 1 cm^2	cm^{-2}
n_p	Windungszahl je Spannungseinheit primär	V^{-1}
n_s	Windungszahl je Spannungseinheit sekundär	V^{-1}

Fortsetzung von Tabelle 60

Formelzeichen	Benennung	Einheit
P	Elektrische Leistung	VA
P_p	Primärleistung	VA
P_s	Sekundärleistung	VA
q	Kernquerschnitt	cm^2
q_{Cu}	Querschnitt des Kupferdrahtes	mm^2
q_{Fe}	Effektiver Eisenkernquerschnitt	cm^2
q_L	Querschnitt des Luftspaltes für magnetischen Fluß	cm^2
R_{Cu}	Kupferwiderstand	Ω
R_{Fe}	Magnetischer Widerstand im Eisenkern	$H^{-1}(AVs)$
R_L	Magnetischer Widerstand im Luftspalt	H^{-1}
R_M	Magnetischer Widerstand, allgemein	H^{-1}
S	Stromdichte	$A\ mm^{-2}$
U	Spannung, allgemein	V
U_o	Oberspannung (Spartransformator)	V
U_p	Primärspannung	V
U_s	Sekundärspannung	V
U_u	Unterspannung (Spartransformator)	V
$\ddot{u}$	Übersetzungsverhältnis	—
V	Volumen des Eisens	cm^3
w	Windungszahl allgemein	—
w_p	Windungszahl primär	—
w_s	Windunsgzahl sekundär	—
x	Blechbreite	cm
x_F	Fensterbreite	cm
y	Blechhöhe	cm
y_F	Fensterhöhe	cm
z	Pakethöhe	cm
ϱ	Spezifischer Widerstand (Kupfer): $0{,}0175 \cdot 10^{-4}$	Ω cm
μ_r	Relative Permeabilität	—
μ_0	Induktionskonstante: $4\pi \cdot 10^{-7}$	$H\ mm^{-1}$
Φ	Magnetischer Fluß, allgemein	Wb (Vs)
Φ_{Fe}	Magnetischer Fluß im Eisen	Wb
Φ_L	Magnetischer Fluß in Luft	Wb

Tabelle 61

Wichtige Größen und Einheiten der Elektrotechnik

Größe		Praktische absolute Einheiten		
Name	Symbol	Name	Symbol	in m, kg, s, A und V
Kraft	F	Newton	N	$kg\ m\ s^{-2}$
Arbeit, Energie	A	Joule	J	$kg\ m^2s^{-2} = VAs$
Leistung	P	Watt	W	$kg\ m^2s^{-3} = VA$
Elektrische Spannung	U	Volt	V	V
Elektrische Feldstärke	E	—	V/m	Vm^{-1}
Elektrische Stromstärke	I	Ampère	A	A
Elektrizitätsmenge	Q	Coulomb	C	As
Widerstand	R	Ohm	Ω	VA^{-1}
Leitwert	G	Siemens	S	AV^{-1}
Kapazität	C	Farad	F	AsV^{-1}
Induktivität	L	Henry	H	VsA^{-1}
Magnetischer Induktionsfluß	Φ	Weber	Wb	Vs
Magnetische Feldstärke	H	—	A/m	Am^{-1}
Magnetische Flußdichte (Induktion)	B	Tesla	T	$Vs\ m^{-2}$

absoluten Einheiten V, A, Ω, von Bedeutung. Dieser Induktionskoeffizient (Absolute Permeabilität) ist:

$$\mu o = 4\ \pi \cdot 10^{-7}\quad kg\ m\ s^{-2}\ A^{-2} = 4\ \pi \cdot 10^{-7}\ H\ m^{-1}$$

Schließlich sei noch der spezifische Widerstand für Kupfer bei einer Temperatur von 20 °C angegeben:

$$\rho = 0{,}0175 \cdot 10^{-4}\ \Omega\ cm$$

Er ändert sich mit der Temperatur um den Faktor k_T, den Temperatur-Koeffizienten für Kupfer:

$$k_T = 1 + 0{,}004 \cdot \Delta t$$

Δt ist die Temperaturdifferenz in grd zwischen 20 °C und der Wicklungstemperatur. Bei einer Wicklungstemperatur von 60 °C ändert sich der Kupferwiderstand immerhin um den Faktor 1,16, also um 16%.

Durch Gesetze in allen wichtigen Ländern ist für die Einheiten jetzt die Anwendung des internationalen Einheitensystems

(IS) verbindlich. In der **Tabelle 62** sind die neuesten Definitionen dieser Internationalen Einheiten zusammengestellt.

Tabelle 62
Definitionen der wichtigsten IS-Einheiten

Das *Meter* (Längeneinheit) entspricht der Länge von genau 1 650 763,73 Wellenlängen derjenigen Strahlung im Vakuum, die zu dem ungestörten Übergang zwischen den Niveaus $2p_{10}$ und $5d_5$ des Krypton-86-Atoms gehört (orange-rote Linie).

Das *Kilogramm* (Masseneinheit) ist die Masse eines Zylinders aus einer Platin-Iridium-Verbindung, der der internationale Prototyp des Kilogramms genannt wird; es wird durch das Internationale Büro der Maße und Gewichte in einem Gewölbe in Sèvres, Frankreich, aufbewahrt.

Die *Sekunde* (Zeiteinheit) ist 1/31 556 925,974 7 des tropischen Jahres 1900, Januar, 0. Tag, 12 Uhr Ephemeridenzeit.

Das *Newton* (Einheit der Kraft) ist diejenige Kraft, die eine Masse von 1 kg auf 1 Meter pro Sekundenquadrat beschleunigt.

Das *Joule* (Einheit der Energie) ist die Arbeit, die aufgebracht werden muß, um den Angriffspunkt von einem Newton um 1 Meter in Richtung der wirkenden Kraft zu verschieben.

Das *Watt* (Einheit der Leistung) ist die Leistung, die bei Erzeugung von 1 Joule pro Sekunde freigesetzt wird.

Das *Volt* (Einheit der Spannung) ist die elektrische Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten eines Leiters, den ein konstanter Strom von 1 Ampere durchläuft, wenn die zwischen den beiden Punkten aufgebrachte Leistung gleich 1 Watt ist.

Das *Ohm* (Einheit des elektrischen Widerstandes) ist der elektrische Widerstand zwischen zwei Punkten eines Leiters, zwischen denen eine konstante Potentialdifferenz von 1 Volt herrscht, die im Leiter einen Strom von 1 Ampere erzeugt. Das gilt unter der Voraussetzung, daß der Leiter selbst nicht irgendeine Spannungsquelle ist.

Das *Coulomb* (Einheit der Elektrizitätsmenge) ist diejenige Elektrizitätsmenge, die in 1 Sekunde von einem Strom von 1 Ampere transportiert wird.

Das *Farad* (Einheit der elektrischen Kapazität) ist die Kapazität, die zwischen den Platten eines Kondensators auftritt, die, wenn sie mit einer Elektrizitätsmenge von 1 Coulomb geladen werden, eine Potentialdifferenz von 1 Volt haben.

Das *Henry* (Einheit der elektrischen Induktivität) ist die Induktivität eines geschlossenen Stromkreises, in dem eine Spannung von 1 Volt erzeugt wird, wenn sich der elektrische Strom gleichmäßig um 1 Ampere pro Sekunde ändert.

Das *Weber* (Einheit des Induktionsflusses) ist der Induktionsfluß, der in einem geschlossenen Leiterkreis, bestehend aus einer Windung, in ihr eine Spannung von 1 Volt induziert, wenn der Induktionsfluß in einer Sekunde gleichmäßig auf Null zurückgeht.

Das *Grad Kelvin* (Einheit der Temperatur) ist die Einheit der Temperatur, die durch die Tripelpunktstemperatur des Wassers, die genau als 273,16 °K definiert ist, bestimmt wird.

Die *Candela* (Einheit der Lichtstärke) hat den Wert, daß die Lichtstärke (Intensität) eines schwarzen Körpers bei der Erstarrungstemperatur des Platins gerade 60 Candela pro Quadratzentimeter beträgt.

Das *Lumen* (Einheit des Lichtstroms) ist der Lichtstrom, den eine punktförmige Lichtquelle von der Lichtstärke 1 Candela in den Raumwinkel 1 Steradian strahlt.

7.3 Transformatoren für Gleich-Wechselspannungs-Umsetzer

7.3.1 Allgemeines

Transformatoren für Gleich-Wechselspannungs-Umsetzer[1]) sind nicht unmittelbar als Netztransformatoren aufzufassen. Da diese Geräte jedoch mehr und mehr angewendet werden, die Frequenz meist auch bei 50 Hz liegt, soll der folgende Abschnitt einiges über die Berechnung derartiger Transformatoren bringen. In diesem Zusammenhang sei auf eine neuere ausführliche Arbeit [5] über derartige Umsetzer, dort noch Transistor-Spannungswandler genannt, hingewiesen. Gleich-Wechselspannungs-Umsetzer werden in verschiedenen Ausführungen hergestellt, von denen drei als Beispiel gebracht werden sollen. Die Schaltungen werden jeweils für das gesamte Gerät gezeigt, weil sonst die Wirkungsweise und die Berechnung nicht verständlich sind.

Da in der genannten Arbeit weitere interessante Daten von Transformator-Blechen angegeben sind, wird hier das entsprechende Diagramm in **Bild 57** wiedergegeben. Es zeigt die maximal übertragbare Leistung genormter Kerne, jedoch als Funktion der Frequenz, mit der — abgesehen von höheren Verlusten — die übertragbare Leistung steigt. Bei Vergleich mit Tabelle 41 und weiteren sind geringe Unterschiede in der Leistungsangabe für 50 Hz zu bemerken, die jedoch bedeutungslos sind. Die maximale Leistung kann man bei einer größeren Zahl von Wicklungen sowieso nicht erreichen.

Etwas anderes muß bei diesen Transformatoren noch gegenüber Netztransformatoren beachtet werden. Das sind *Art* der Wicklung und *Anordnung* der einzelnen Wicklungen. Es ist wegen der Möglichkeit hoher Spannungsspitzen durch die Streuinduktivität eine enge Kopplung vorzusehen. Hierfür sind die Wicklungen zu verschachteln. Wie dies geschieht, zeigen die **Bilder 58** und **59** für zweidrähtig und mehrdrähtig gewickelte

---

[1]) In Anbetracht kommender Normen wird hier von Umsetzern statt von Wandlern gesprochen, da Wandler (Meßwandler) etwas anderes bedeuten.

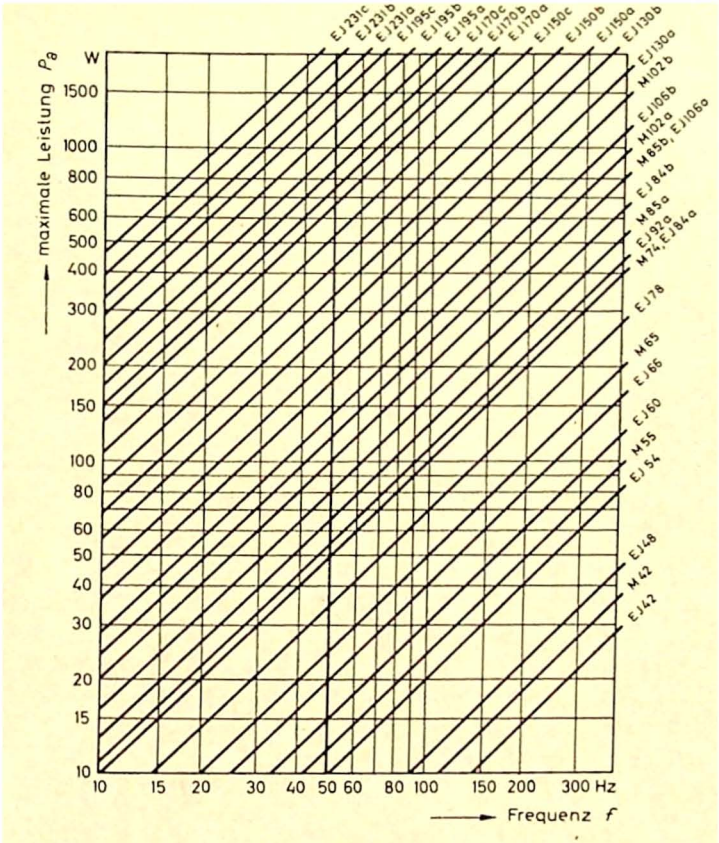


Bild 57 Maximal übertragbare Leistung als Funktion der Frequenz für genormte Transformatoren bei Dynamoblech IV und 0,35 mm Blechstärke, bei 1,2 T

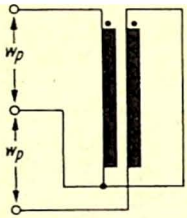


Bild 58 Streuarme Wicklungen für Gegentakt-Transformatoren, zweidrähtig gewickelt

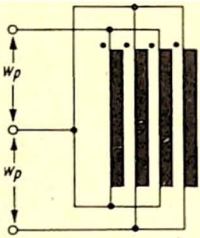


Bild 59 Mehrdrähtig verschachtelte streuarme Wicklungen

Transformatoren. Schließlich ist noch zu beachten, daß im Sättigungsgebiet gearbeitet werden kann.

Die Transformatoren für Gleich-Wechselspannungs-Umsetzer enthalten drei Wicklungen oder Wicklungsgruppen, die Primärwicklung w_p, die Sekundärwicklung w_s *und* die Rückkopplungswicklung w_r.

7.3.2 Berechnung von Transformatoren für Umsetzer

Um eine Berechnung solcher Transformatoren zu ermöglichen, wurde die Tabelle mit den Berechnungsformeln aus der genannten Veröffentlichung [5] in **Tabelle 63** übernommen. Dabei wurden die Formelzeichen den in diesem Buch gewählten angepaßt.

Gegenüber Tabelle 61 wurden hier noch einige weitere Formelzeichen benutzt, die in der zweiten Spalte angegeben sind. Das betrifft vor allem die mit den Transistoren zusammenhängenden Werte, Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE}, Basis-Emitter-Spannung U_{BE}, Kollektor-Strom I_C, Basis-Widerstand R_B und Eingangskondensatoren C.

Sinngemäß ist noch die Windungszahl w_r der Rückkopplungswicklung eingefügt. Nach der vorgesehenen Berechnungs-

Tabelle 63

Berechnungsformeln für Gegentakt-Umsetzer mit gesättigten Kernen

Schaltung	einfacher Gegentakt-Umsetzer	Serien-Gegentakt-Umsetzer
Kollektor-Emitter-Spannung bei $U_{BE} = 0$ U_{CEmax}	$\geq 2 \cdot U_{0\,max}$	$\geq U_{0\,max}$
Kollektorspitzenstrom $I_{C\,max}$	$\geq 1{,}2 \cdot \dfrac{P_{a\,max}}{U_{0\,max} - U_K}$	$\geq 2{,}4 \cdot \dfrac{P_{a\,max}}{U_{0\,max} - 2\,U_K}$
Effektiver Kernquerschnitt des Transformators q_{Fe}	$\geq 40 \cdot \sqrt{\dfrac{P_{a\,max} \cdot 1{,}25}{B_s \cdot f \cdot S}}$	$\geq 40 \cdot \sqrt{\dfrac{P_{a\,max}}{B_s \cdot f \cdot S}}$
Primäre Windungszahl w_p	$= \dfrac{U_0 - U_K}{4 \cdot B_s \cdot q_{Fe} \cdot f} \cdot 10^5$	$= \dfrac{0{,}5 \cdot U_0 - U_K - U_D}{4 \cdot B_s \cdot q_{Fe} \cdot f} \cdot 10^5$
Sekundäre Windungszahl w_s	$= 1{,}05 \cdot \dfrac{U_a}{U_0 - U_K} \cdot w_p$	$= 1{,}05 \cdot \dfrac{U_a}{0{,}5 \cdot U_0 - U_K - U_D} \cdot w_p$
Rückkopplungs-Windungszahl w_r	$= \dfrac{2 \cdot U_{BE}}{U_0 - U_K} \cdot w_p$	$= \dfrac{2 \cdot U_{BE}}{0{,}5 \cdot U_0 - U_K - U_D} \cdot w_p$
Primärwindungen pro cm² n_{Fp}	$\geq 4 \cdot \dfrac{w_p}{F_w}$	$\geq 2 \cdot \dfrac{w_p}{F_w}$
Sekundärwindungen pro cm² n_{Fs}	$\geq 2{,}5 \cdot \dfrac{w_s}{F_w}$	$\geq 2{,}5 \cdot \dfrac{w_s}{F_w}$
Rückkopplungswindungen pro cm² n_{Fr}	$\geq 10 \cdot \dfrac{w_r}{F_w}$	$\geq 10 \cdot \dfrac{w_r}{F_w}$
Drahtquerschnitt primär q_p	$\geq 0{,}8 \cdot \dfrac{P_{a\,max}}{U_{0\,max} \cdot S}$	$\geq 0{,}55 \cdot \dfrac{P_{a\,max}}{U_{0\,max} \cdot S}$
Drahtquerschnitt sekundär q_s	$\geq \dfrac{P_{a\,max}}{U_{a\,max} \cdot S}$	$\geq \dfrac{P_{a\,max}}{U_{a\,max} \cdot S}$
Drahtquerschnitt der Rückkopplung q_r	$\approx 0{,}1 \cdot q_p$	$\approx 0{,}1 \cdot q_p$
Basis-Vorwiderstände R_B	$\approx \dfrac{U_{BE}}{I_B}$	$\approx \dfrac{U_{BE}}{I_B}$
Eingangs-Kondensatoren C	$\approx \dfrac{0{,}1 \cdot P_a}{U_0^2 \cdot f}$	$\approx \dfrac{P_a}{1{,}4 \cdot f \cdot U_0 \cdot U_D}$

Fortsetzung von Tabelle 63

Schaltung		Brücken-Gegentakt-Umsetzer
Kollektor-Emitter-Spannung bei $U_{BE} = 0$	$U_{CE\,max}$	$\geq U_{0\,max}$
Kollektorspitzenstrom	$I_{C\,max}$	$\geq 1{,}2 \cdot \frac{P_{a\,max}}{U_{0\,max} - 2\,U_K}$
Effektiver Kernquerschnitt des Transformators	q_{Fe}	$\geq 40 \cdot \sqrt{\frac{P_{a\,max}}{B_s \cdot f \cdot S}}$
Primäre Windungszahl	w_p	$= \frac{U_0 - 2 \cdot U_K}{4 \cdot B_s \cdot q_{Fe} \cdot f} \cdot 10^5$
Sekundäre Windungszahl	w_s	$= 1{,}05 \cdot \frac{U_a}{U_0 - 2 \cdot U_K} \cdot w_p$
Rückkopplungs-Windungszahl	w_r	$= \frac{2 \cdot U_{BE}}{U_0 - 2 \cdot U_K} \cdot w_p$
Primärwindungen pro cm²	n_{Fp}	$\geq 2 \cdot \frac{w_p}{F_w}$
Sekundärwindungen pro cm²	n_{Fr}	$\geq 2{,}5 \cdot \frac{w_s}{F_w}$
Rückkopplungs-windungen pro cm²	n_{Fr}	$\geq 10 \cdot \frac{w_r}{F_w}$
Drahtquerschnitt primär	q_p	$\geq 1{,}1 \cdot \frac{P_{a\,max}}{U_{0\,max} \cdot S}$
Drahtquerschnitt sekundär	q_s	$\geq \frac{P_{a\,max}}{U_{a\,max} \cdot S}$
Drahtquerschnitt der Rückkopplung	q_r	$\approx 0{,}1 \cdot q_p$
Basis-Vorwiderstände	R_B	$\approx \frac{U_{BE}}{I_B}$
Eingangs-Kondensatoren	C	$\geq \frac{0{,}1 \cdot P_a}{U_0^2 \cdot f}$

art werden nach dem Platzbedarf die Windungszahlen je cm² der Primärwicklung n_{Fp}, der Sekundärwicklung n_{Fs} und der Rückkopplungswicklung n_{Fr}, errechnet. Die in Tabelle 63 benutzten weiteren Zeichen sind in nachstehender **Tabelle 64** zusammengestellt. Der Vollständigkeit halber sind auch Zeichen, die in Tabelle 61 vorkommen und hier benötigt werden, wiederholt.

Tabelle 64

Formelzeichen, wie sie in Tabelle 63 verwendet wurden

Zeichen	Benennung	Einheit
B_s	Sättigungsinduktion (Flußdichte) des Transformatorkerns	kG*)
C	Kapazität	F
f	Schwingfrequenz	Hz
F_w	Nutzbarer Wickelraum	cm²
I_B	Basisstrom für maximalen Kollektorstrom $I_{C\,max}$	A
$I_{C\,max}$	Zulässiger Kollektorstrom	A
P_a	Ausgangsleistung des Spannungs-Umsetzers	W
$P_{a\,max}$	Ausgangsleistung bei $U_{0\,max}$	W
q_{Cu}	Drahtquerschnitt	mm²
q_{Fe}	Effektiver Eisenquerschnitt	cm²
R	Widerstand im Rückkopplungszweig	Ω
S	Zulässige Stromdichte	A mm^{-2}
U_a	Rechteck-Ausgangsspannung (Rechteck- = Effektivwert)	V
U_{BE}	Basis-Emitterspannung für $I_{C\,max}$	V
$U_{CE\,max}$	Zulässige Kollektor-Emitterspannung bei Kurzschluß zwischen Basis und Emitter	V
U_D	Dachschräge	V
U_K	Kniespannung der Transistoren bei $I_{C\,max}$	V
U_0	Batteriespannung	V
$U_{0\,max}$	Maximalwert der Batteriespannung	V
w	Windungszahl (allgemein)	—
w_F	Windungszahl je Flächeneinheit	cm^{-2}

*) Abweichende Einheiten beachten (1 kG = 10^{-5} Vs m^{-2} = 10^{-1} T)

Nachstehend sei als Beispiel für einen Parallel-Gegentakt-Umsetzer 24 V/220 V für 50 Hz und 250 W nach **Bild 60** der Berechnungsgang in **Tabelle 65** zusammengefaßt.

Zwei weitere Beispiele sind in den Ergebnissen zusammengestellt. **Bild 61** zeigt die Schaltung eines Serien-Gegentakt-Spannungsumsetzers von 48 V auf 220 V für 50 Hz und eine Leistung von 10 W. Die Daten sind in **Tabelle 66** angegeben.

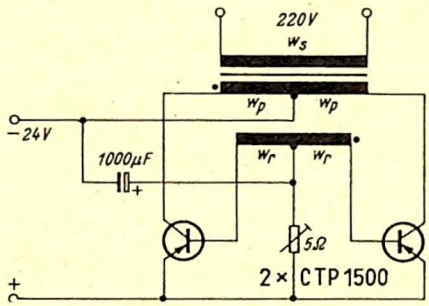


Bild 60 Parallel-Gegentakt-Spannungsumsetzer von 24 V auf 220 V, 50 Hz, 250 W

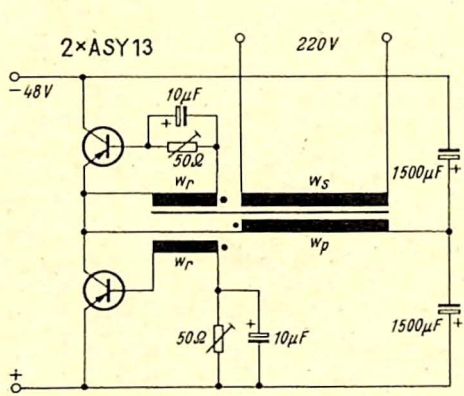


Bild 61 Serien-Gegentakt-Spannungsumsetzer von 48 V auf 220 V, 50 Hz, 10 W

Tabelle 65

Berechnungsbeispiel für einen Parallel-Gegentakt-Umsetzer

Zeichen	Benennung	Wert	Einheit
U_0	Batteriespannung	24 ± 3	V
U_a	Ausgangsspannung	220	V
P_a	Ausgangsleistung	250	W
f	Schwingfrequenz	50	Hz
$P_{a\,max}$	Leistung bei maximaler Batteriespannung $P_{a\,max} = \left(\frac{U_{0\,max}}{U_0}\right)^2 \cdot P_a$	304	W
f_{max}	Frequenz bei maximaler Batteriespannung $f_{max} = f \cdot \frac{U_{0\,max}}{U_0}$	56	Hz
	Geeigneter Transistor: CTP 1500		
$U_{CE\,max}$	Kollektor-Emitterspannung (bei $U_{BE} > 0$)	60	V
$I_{C\,max}$	Kollektor-Strom	15	A
I_B	Basisstrom bei $I_C = 15$ A	< 1	A
U_{BE}	Basis-Emitterspannung bei $I_C = 15$ A	< 3	V
U_K	Kollektorspannung bei $I_C = 15$ A	< 1	V
	Blechart: Dynamoblech IV × 0,35 Viele Wicklungen, daher Leistung Transformatortyp nach Bild 57: EI 150 a (= EI 150/40 nach Tabelle 42)	380	W
	Nach den Formeln aus Tabelle 63 ergibt sich:		
w_p	Primärwindungszahl, je	52	—
w_r	Rückkopplungs-Windungszahl, je	14	—
w_s	Sekundärwindungszahl	520	—
F_w	Nutzbarer Wickelraum	21,4	cm^2
n_{Fp}	Windungszahl je cm^2, primär	9,8	cm^{-2}
n_{Fr}	Windungszahl je cm^2, Rückkopplung	13,1	cm^{-2}
n_{Fs}	Windungszahl je cm^2, sekundär	61	cm^{-2}
q_p	Drahtquerschnitt, primär	5	mm^2
d_p	Drahtdurchmesser, primär	2,5	mm
q_r	Drahtquerschnitt, Rückkopplung	0,5	mm^2
d_r	Drahtdurchmesser, Rückkopplung	1	mm
q_s	Drahtquerschnitt, sekundär	0,68	mm^2
d_s	Drahtdurchmesser, sekundär	0,95	mm
R_B	Basisvorwiderstand	3	Ω
C	Eingangskondensator	$8{,}7 \cdot 10^{-4}$	F

Tabelle 66
Daten des Serien-Gegentakt-Umsetzers für 10 W

Zeichen	Benennung	Wert	Einheit
U_0	Batteriespannung	48	V
U_a	Ausgangsspannung	220	V
P_a	Ausgangsleistung		
	Kern: M 55/20, Dynamoblech		
	IV × 0,35 ohne Luftspalt	10	W
f	Frequenz (± 3%)	50	Hz
w_p	Windungszahl, primär	290	—
d_p	Kupferlackdraht (CuL), Durchmesser	0,55	mm
w_r	Windungszahl, Rückkopplung, je	16	—
d_r	Kupferlackdraht (CuL), Durchmesser	0,3	mm
w_s	Windungszahl, sekundär	3000	—
d_s	Kupferlackdraht (CuL), Durchmesser	0,15	mm

Bild 62 zeigt die Schaltung eines Brücken-Gegentakt-Umsetzers, dessen Daten in **Tabelle 67** zusammengestellt sind.

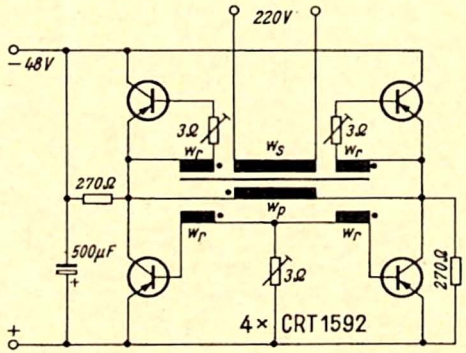


Bild 62 Brücken-Gegentakt-Spannungsumsetzer von 48 V auf 200 V, 400 Hz, 1 kW

Tabelle 67

Daten des Brücken-Gegentakt-Umsetzers für 1 kW, 400 Hz

Zeichen	Benennung	Wert	Einheit
U_0	Batteriespannung	48	V
U_a	Ausgangsspannung	220	V
P_a	Ausgangsleistung	1	kW
f	Frequenz	400	Hz
	Kern: SM 102a, Trafoperm N 2-111		
w_p	Windungszahl, primär	14	—
d_p	Drahtdurchmesser (CuL, 2 Drähte parallel)	$2 \times 2{,}8$	mm
w_r	Windungszahl, Rückkopplung, je	2	—
d_r	Drahtdurchmesser (CuL)	1,0	mm
w_s	Windungszahl, sekundär	69	—
d_s	Drahtdurchmesser (CuL)	1,7	mm

7.4 Kennzeichnung von Anschlüssen und Leitungen

Da es bisher noch keine deutsche oder internationale Norm für die Kennzeichnung der Anschlüsse bei Wicklungen von Netztransformatoren gibt, werden nachstehend einige ältere Vorschläge zusammengestellt und ein neuer Vorschlag gemacht.

Bekannt sind die von der RMA vorgeschlagenen Farbcodes für Widerstands- und Kapazitätswerte. Von der gleichen Stelle liegt auch eine Aufstellung für die Kennzeichnung von Netztransformatoren vor. Eine deutsche Firma benutzte früher einen anderen Farbcode, der von dem RMA-Code völlig abweicht. Beide Vorschläge sind in der nachstehenden **Tabelle 68** zusammengestellt.

Tabelle 68 Ältere Kennzeichnung von Netztransformatoren

Wicklung	*RMA*	*Telefunken*
Primärwicklung		
Anfang	schwarz	weiß
Anzapfungen	schwarz/gelb	rot
Ende	schwarz/rot	gelb
Sekundärwicklung für Anodenspannung		
Anfang	rot	gelb/rot
Mitte	rot/gelb	grün/rot u. a.
Ende	rot	gelb/grün
Sekundärwicklung für Gleichrichterheizung		
Anfang	gelb	rot/schwarz
Mitte	gelb/blau	—
Ende	gelb	grün/schwarz
1. *Sekundärwicklung für Röhrenheizung*		
Anfang	grün	gelb/rot/schwarz
Mitte	grün/gelb	—
Ende	grün	gelb/grün/schwarz
2. *Sekundärwicklung für Röhrenheizung*		
Anfang	braun	—
Mitte	braun/gelb	—
Ende	braun	—
3. *Sekundärwicklung für Röhrenheizung*		
Anfang	schiefergrau	—
Mitte	schiefergrau/gelb	—
Ende	schiefergrau	—

Tabelle 69 Kennzeichnung von Schaltdrähten nach DIN 40 720

1. *Übertragungsleitungen* a) weiß (auch weiß/blau, weiß/grün, weiß/gelb) b) braun (auch braun/blau, braun/grün, braun/gelb)
2. *Besondere Leitungen* (Steuerleitungen) grün (grün/rot) gelb (gelb/rot) grau (grau/rot) violett (violett/rot)
3. *Stromversorgungsleitungen* + Pol: rot bei einseitiger Erdung — pol: blau Masse und Schutzleitung schwarz

Bevor neue Vorschläge gemacht werden, soll noch der DIN-Farbcode für Leitungen zusammengestellt werden, da die Farbe der Leitungsführung mit der Transformatoren-Kennzeichnung sinnvoll zusammenpassen sollte **(Tabelle 69)**.

Während also an Transformatoren nach bisherigen Vorschlägen die Anodenwicklung rot ist, soll nach DIN die positive Gleichspannung führende Leitung rot sein – ein unmöglicher Zustand. Es scheint dagegen vernünftig zu sein, daß Anzapfungen mehrfarbig (gestreift) gekennzeichnet werden. Dagegen ist es ungünstig, daß die Primärleitung schwarz ist, wenn nach DIN 40 720 die Masse schwarz sein soll. Hier ist aber schwer etwas zu ändern, da auch alle anderen Farben besetzt sind. DIN 40 720 gilt im übrigen für die Nachrichtentechnik und berücksichtigt nicht die Belange der Elektronik.

Die jetzt mehr und mehr zur Anwendung kommende Brückengleichrichtung vermeidet Mittelanzapfungen. Beide Wicklungsenden sind gleichberechtigt. Transformatoren mit vielen Wicklungen, die zum Teil auf hohem Potential liegen, erfordern dagegen unbedingt eine Kennzeichnung von Anfang und Ende, was bei Gegentaktgleichrichtung (siehe Anodenwicklung von Tabelle 68) nicht nötig ist. Um ein Merken der Farben zu erleichtern, sollte jede Wicklung mit Anfang, Mitte und Ende die gleiche Hauptfarbe haben, z. B. eine Sekundärwicklung mit zwei Anzapfungen bei der Grundfarbe lila, die Farben lila für den Anfang, lila/gelb für die erste Anzapfung, lila/rot für die zweite Anzapfung und lila/weiß für das Ende.

Reserviert man für Primärwicklungen weiß als Grundfarbe und berücksichtigt man, daß Heizwicklungen symmetrisch, d. h. Anfang und Ende gleich gekennzeichnet sein können, so ergibt sich die Zusammenstellung nach **Tabelle 70.**

In ihr bedeuten einheitlich die Streifen gelb und rot die Anzapfungen und weiß das Ende. Einfarbige Kennzeichnung zeigt außer bei der Primär- und 1. Sekundärwicklung jeweils den Anfang der betreffenden Wicklung.

Tabelle 70

Vorschlag für Farbkennzeichnung von Wicklungen bei Netztransformation

Primärwicklung[1]	
Anfang	weiß/rosa
Anzapfungen	weiß/gelb
Ende	weiß/rot
1. *Sekundärwicklung*	(höhere Spannung)
Anfang	blau/rosa
Anzapfungen	blau/gelb
Ende	blau/weiß
(bei Symmetrie:	blau, blau/gelb, blau)
2. *Sekundärwicklung*	
Anfang	lila
Anzapfungen	lila/gelb, lila/rot
Ende	lila/weiß
(bei Symmetrie:	lila, lila/gelb, lila)
3. *Sekundärwicklung*	
Anfang	grün
Anzapfungen	grün/gelb, grün/rot
Ende	grün/weiß
4. *Sekundärwicklung*	
Anfang	braun
Anzapfungen	braun/gelb, braun/rot
Ende	braun/weiß
5. *Sekundärwicklung*	
Anfang	grau
Anzapfungen	grau/gelb, grau/rot
Ende	grau/weiß

[1]) Bei zwei Primärwicklungen wird für das Ende der ersten grün verwendet, während der Anfang der zweiten rot wird; Anzapfungen für verschiedene Netzspannungen werden grün, braun, grün/rot, rot, gelb/braun, blau.

7.5 Genormte Isolationsklassen und zugehörige Werkstoffe

Tabelle 71
Isolationsklassen und Werkstoffe

Isolationsklasse	Grenztemperatur °C	Drahtisolation	Imprägnier-, Preß- und Gießharze	Folien
Y	90	Papier, Seide, Kunstseide	Polystyrol (Thermoplaste)	Papier, unimprägniert, Polyvinylchlorid
A	105	wie Y, jedoch imprägniert (Öllackdraht)	Schellack, Azetalharz	Papier (imprägniert), Zelluloseazetat, Polyamide, PVC, Polyäthylen, Baumwoll-Lackgewebe
E	120	Azetatlack, Polyurethanlack (lötbar), Epoxylack	Melaminharze, Phenolharze, Formaldehyd-Epoxydharze	Zellulosetriazetat, Nitrilkautschuk
B	130	Polyesterlacke	Polyesterharze, Epoxydharze	Polyesterfolien, Ölglasseide, Polykarbonat
F	155	Polyesterlacke	Polyesterharze, Silikon-, Alkyd- und -Phenolharze, Epoxydharze	Lackglasgewebe, Asbest-, Glimmer- und Schichtpreßstoffe, Silikonkautschuk
H	180	Polyimidlack, Silikonlack	Silikonharze, Silikon-Elastomere, Polyimide	Silikonglasseide, Asbestpapier, Glimmerfolien, Polyimidfolien
C	> 180	Glasfaser	Mineralische Isolationen	Polytetrafluoräthylen (Teflon bis 250°C)

Vgl. [10].

Alsthom, Abt. Lacke, Isolierstoffe, Kunststoffe, 169 Bd de Valmy, Colombes (Seine)/Frankreich, Thomson GmbH, 6 Frankfurt a. M., Eschenheimer Anlage 28	Isolierstoff-Tränklacke
Carl-August Aweh, 2 Hamburg-Schenefeld, Schäferkamp 18—28	Befestigungswinkel
Bayer AG, 509 Leverkusen-Bayerwerk	Makrofol, Triafol
Dr. Beck & Co., 2 Hamburg 28	Tränklack
E. Blum KG, 6581 Enzweihingen/Württ.	Transformatorenbleche
Deutsche Gesellschaft der Fabriken Usines Diélectriques S.A. und *Le Fil Isolé Moderne S.A. Delle mbH* 5 Köln/Rhein, Maybachstr. 36	Lack- und Oelpapier Kupferlackdraht
Dielektra AG, 505 Porz/Rhein, Postfach 40	Lackpapier, Isolierschlauch
Ing. Erich u. Fred Engel GmbH, 62 Wiesbaden-Schierstein, Postfach 17 337	Netztransformatoren, Experimentiertransformatoren
Arno L. Fuchs, 73 Eßlingen/Neckar, Strohstr. 24	Kupferlackdraht, Lacke
Julius Karl Görler, 68 Mannheim-Rheinau Postfach 5	Netztransformatoren
Hartmann & Co., 6 Frankfurt a.M., Mainzer Landstr. 264	Kupferfolie
Dipl.-Ing. H. Haufe, 639 Usingen/Taunus, Weilburger Str. 14	Mu-Metall-Abschirmungen, Bauteile, Spulenkörper
Dr. Karl Herberts & Co., 56 Wuppertal-Barmen, Cristbusch	Tränklack
Hohentoher Spulenkörperfabrik, 711 Öhringen/Württ. Karlsvorstadt 44, Postfach 74	geklebte, flanschlose, gespritzte Spulenkörper, Schachtelspulenkörper, Lötösenleisten
Carl Huth & Söhne, 712 Bietigheim/Württ.	Teflonfolie, Isolierteile
Kalle AG, 6202 Wiesbaden-Biebrich, Postfach 9165	Hostaphan

Hermann Karlguth, 1 Berlin SO 36, Reichenberger Str.	Befestigungswinkel und Klemmleisten
H. Kazda KG, 216 Stade/Elbe, Bremervörder Str. 111	Vollständige Netztransformatoren, Drosseln
Fried. Krupp GmbH Widia-Fabrik, 43 Essen 1, Postfach 930	Transformatorenbleche, hochpermeable Abschirmungen, Bandkerne, Schnittbandkerne (Hyperm)
Langenbucher & Schneider GmbH, 7 Stuttgart-Zuffenhausen, Schwieberdinger Str. 57	Kupfer-Lackdraht
Rudolf Majer Physiklabor, 7 Stuttgart	Vollständige Netztransformatoren
May & Christe GmbH, 637 Oberursel/Taunus, Zimmersmühleweg 11	Netztransformatoren und Drosseln
Purrmann-Schrauben, 7 Stuttgart, Lindenspürstr. 36—38	Schrauben
Stocko-Metallwarenfabrik, 56 Wuppertal-Elberfeld, Kirchhofstr. 5	Lötösen
Vacuumschmelze AG, 645 Hanau/Main, Grüner Weg 37	Mu-Metall-Abschirmungen, Spezialbleche
Bruno Weisser, 7086 Neresheim/ Württ., Postfach 15	Spulenkörper
Wiederhold, 401 Hilden/Rhld.	Lacke
Roland Zeissler, 5213 Spich üb. Troisdorf	Mu-Metall-Abschirmungen

Eine Gewähr für Vollständigkeit kann nicht übernommen werden.

7.7 Literatur

[1] Assmuss, Dr. F., und Boll, Dr. R.: Kleinere Transformatoren durch Schnittbandkerne. ELEKTRONIK, 4. Jg. (1955), Heft 9, S. 220—223.

[2] SEL-Taschenbuch, herausgegeben von der Standard-Elektrik-Lorenz AG, von H. Sarkowski, Stuttgart 1962; Verlag Berliner Union, Stuttgart.

[3] Sacklowski, Dr. A.: Physikalische Größen und Einheiten; Dera-Fachverlag Stuttgart.

[4] Vacuumschmelze AG, Hanau, Schnittbandkerne. Firmenschrift FS-M 6, Ausgabe 1960.

[5] Gerlach, A., und Keller, H.: Transistor-Gegentakt-Spannungswandler hoher Leistung. FUNKSCHAU, 35. Jg., Heft 5, S. 121, Heft 10, S. 275.

[6] Alle Normblätter können bei dem Beuth-Vertrieb GmbH, 1 Berlin 15, Uhlandstr. 175, bezogen werden.

[7] Alsthom, Abteilung Lacke. Thomson GmbH, 6 Frankfurt a. M., Eschenheimer Anlage 28.

[8] Elektrobleche, Magnetische Werkstoffe für Übertrager, DIN 41 301, Entwurf August 1963. Elektronorm, Jg. 17 (1963), Heft 11, S. 544...547.

[9] Farbenfabriken Bayer AG, Broschüre Makrofil, Bestellnummer J 9410. Farbenfabriken Bayer AG, Leverkusen-Bayerwerk.

[10] Schaufler, K.: Der Schnittbandkern-Kleintransformator. Elektroniker, Schweiz 1964.

[11] Kupfer-Runddraht, lackisoliert und doppelt lackisoliert, Entwurf DIN 16 435. Elektronorm, Jg. 19 (1965), Heft 4, S. 149—155.

[12] Fried. Krupp Widia-Fabrik, Essen, Weichmagnetische Werkstoffe. Drucksache Nr. W 546.3 d 467.

[13] Fried. Krupp Widia-Fabrik, Essen, Schnittbandkerne aus Hyperm, Drucksache Nr. W 8.20-2.Od 1268.

[14] Boll, Dr. R. und H. Martin: Kleinübertrager und Drosseln mit hochpermeablen Kernen. ELEKTRONIK, 18. Jg. (1969), Heft 4, S. 109...112.

[15] Vacuumschmelze, Hanau, Weichmagnetische Werkstoffe, Handbuch 1967.

VDE-Vorschriften sind beim VDE-Verlag GmbH, 1 Berlin 12, erhältlich.

Sachverzeichnis

Abfalloses Blech 12, 14
Abmessungen
  von Kernblechen 23
Abschirmung 61
Amperewindungen 104
Autotransformator 70

Bausätze 59
Bauvorschriften 110
Befestigung 45
Berechnung von Netztransformatoren 64
Berechnung von Umsetzern 126
Betriebsprüfung 118
Blechbreite 65, 66
—dicke 65, 66
—höhe 65, 66
—paket 25, 65, 66, 74, 96
Brücken-Gegentakt-Spannungsumsetzer 135
Brückengleichrichtung 84

CEE 7, 21

DIN-Normen 7
Dipotherm-Lackpapier 55
Drahtstärke 51, 82, 96
Drosselspulen 7
Durchgangsprüfung 117
Durchschlagfestigkeit 55
Dynamoblech 15

E-Schnitt 30
ED-Schnitt 31
EE-Schnitt 27, 30
Effektiver Kernquerschn. 65, 66
Einheiten 125
Eintaktgleichrichtung 84
EI-Schnitt 9, 29
Eisenfüllfaktor 74
—gewicht 65, 75
—menge 74, 75
—weglänge 65, 66, 93
Excelsiorpapier 55
—seide 55

Farbkennzeichnung 34, 136
Feldstärke 101
Fensterbreite 65, 66
—höhe 65, 66
Fensterquerschnitt 65, 66
Ferromagnetische Eigenschaften 15
Fiederung 54, 56
Formelzeichen 121 ff. 131
Formteilbauweise 39

Gegentakt-Gleichrichtung 84
Gegentakt-Transformatoren 128
Gleichrichtung 84
Gleichstrom-Vormagnetisierung 94
Gleich-Wechselspannungs-Umsetzer 126 ff.
Größen 124 ff.

Herstellerverzeichnis 140
Hostaphan 56, 58
Hysterese 68
Hyperm 60

IEC 7, 21
Induktion 28, 32, 79
Induktionskonstante 32
Induktivität 96, 101
Induktivitätskoeffizient 97
IS-Einheiten 125
Isolationsklassen 139
Isolierfolien 54
—material 21, 54
—platten 61
—transformatoren 22

Kennzeichnung 136
Kernbleche 15
—gewicht 34
—isolation 56
—querschnitt 26
Kleintransformatoren 21, 22, 28
Koeffizient 97, 99
Kupferfüllfaktor 90
Kupferlackdraht 20, 51

Lackgewebe 54
Lackpapier 54
Lagenisolation 56
Leerlaufstrom 117
Leistung 34, 67, 70
Literatur 141
Lötösenplatten 61
L-Schnitt 29
Luftspalt 27, 93, 97

Magnetische Abschirmung 60
— Feldstärke 94, 101, 102, 121
— Flußdichte 102
— Induktion 28, 32, 104
— Kraftlinien 93
— Leitfähigkeit 102, 124
— Streuung 31, 60, 61
— Weglänge 93
Magnetischer Fluß 102
— Widerstand 103
Magnetisierungskurve 95
Makrofol 57
Mantelkerne 9, 28
Mittlere Eisenweglänge 65, 66
— Windungslänge 100
M-Schnitt 9, 28

Netzanschlußtransformator 64
—drosseln 93, 108, 115
—spannung 77
Normen (siehe DIN-Normen)

Oberspannungswicklung 70
Ohmsche Verluste 68

Pakethöhe 65, 66
—stärke 65, 66
Parallel-Gegentakt-Spannungsumsetzer 133
Platzbedarf für Wicklungen 89
Permeabilität 94
Primärleistung 76
—spannung 76
—strom 76
—stromkreis 76
Prüfung 117

Raumbedarfsmaße 17, 19, 46
Rückkopplung (Wicklung) 128
Runddraht 20

Sättigung 127
Schachtelbauweise 26, 39
Schaltzeichen 7, 69
Schichten 26
Schnittbandkerne 31
Schutztransformatoren 21
Schutztrennung 21
Sekundärspannung 84
—leistung 70, 84
Sekundärstrom 78, 84
—stromkreis 67
Serien-Gegentakt-Spannungs-Umsetzer 134
SE-Schnitt 9, 31
SG-Schnitt 34
Siebfaktor 94
SM-Schnitt 9, 31
Spannungs-Strom-Kennlinie 119
Spannverschluß 37
Spartransformator 70, 80
Spezifischer Widerstand von Kupfer 100, 124
— von Eisen 17
Spulenkörper 17, 18, 39
Stegbreite 65, 66, 69
Streuinduktivität 127
Streuung 31, 37, 60
—verluste 68
Stromdichte 51, 82
SU-Schnitt 13, 31, 33
S3U-Schnitt 36

Temperaturbeiwert 124
Tränklacke 62, 63
Trafoperm 28
Trenntransformatoren 22
Triafol 57

Übersetzungsverhältnis 72
UI-Schnitt 13, 29
Ummagnetisierungsverluste 68
Umsetzer 126 ff.
Unterspannungswicklung 70

Vacoflex 28
VDE-Vorschriften 7, 21
Verluste 68
Volumen 65, 66

Wechselseitige Schichten 26
Werkstoffe 16, 28
Wichte (Eisen) 16
Wickelbauvorschriften 41, 110
—material 20, 51
Wicklung 51
Wicklungsisolation 85, 88
Widerstand 100
Windungslänge 100
Windungszahl 79, 98
— je cm^2 51, 52
— je Volt 79, 81
Wirbelstromverluste 68

Zündtransformatoren 22
Zubehör 17, 19, 45

80/80b Das Spulenbuch – Hochfrequenzspulen (Sutaner). 6. Aufl.

81/83 Die elektrischen Grundlagen der Radiotechnik (Leucht). 9. Aufl.

84 Fernsehantennen-Praxis (Mende). 10. Aufl.

86/87 Berufskunde für Radio- und Fernsehtechniker und verwandte Berufe (Rose). 3. Aufl.

88 Schliche und Kniffe für Radiopraktiker Teil II (Kühne). 5. Aufl.

89/90a Autoempfänger (Manzke). 2. Aufl.

91/92 Superhet-Empfänger mit Röhren und mit Halbleitern (Sutaner). 3. Aufl.

93/94 Transistorschaltungen für die Modellfernsteuerung (Bruß). 6. Aufl.

95/96 Fotozellen und ihre Anwendung (Beitz/Hesselbach). 3. Aufl.

97/98 Kleines Stereo-Praktikum (Kühne/Tetzner). 4. Aufl. In Vorbereitung.

99 Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahl-Oszillografen? (Sutaner). 6. Aufl.

100/100a Daten- und Tabellensammlung für Radiopraktiker (Mende). 3. Aufl. In Vorbereitung.

101/102 Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau (Böhm). 4. Aufl.

103 Die Wobbelsender (Sutaner). 3. Aufl.

104 Transistorsender für die Fernsteuerung (Bruß). 4. Aufl.

105/05b Lautsprecher und Lautsprechergehäuse für HiFi (Klinger). 5. Aufl.

106/07a Netztransformatoren und Drosseln (Klein). 3. Aufl.

108 Amateurfunk-Superhets (Gerzelka). 2. Aufl.

109/10 Transistor-Amateurfunkgeräte für das 2-m-Band (Reithofer). 3. Aufl.

111/12 Meßinstrumente und ihre Anwendung (Köhler). 3. Aufl.

113 Elektronische Experimente (Büscher). 3. Aufl.

114 Halbleiter-Experimente (Kleemann). 2. Aufl.

115/16 Elektronische Schaltungen mit Fotozellen (Hennig). 2. Aufl.

117/18 Einseitenbandtechnik für den Funkamateur (Hillebrand). 2. Aufl.

119/20 Gedruckte Schaltungen (Sutaner). 2. Aufl.

121/23 Bastelpraxis Band IV. Transistorpraxis (Diefenbach). 2. Aufl.

124/25 Technische Akustik (Klinger). 1. Aufl.

126/27 Betriebstechnik des Amateurfunks (Henske). 2. Aufl.

128/30 Meßsender, Frequenzmesser und Multivibratoren (Sutaner). 2. Aufl.

131/33 Elektronische Grundschaltungen (Schweigert). 2. Aufl.

134/35 Kleines Halbleiter-ABC (Büscher, Wiegelmann). 2. Aufl.

136 Transistorisierte Netzgeräte (Strobel). 1. Aufl.

137/40 Farbfernsehen (Welland). 2. Aufl.

141/42 Dipmeter mit Röhren, Transistoren und Tunneldioden (Reithofer). 2. Aufl.

143/44 Stereo-Decoder, Funktion und Schaltungstechnik (Ratheiser). 1. Aufl.

145/46 Transistor-Gleichspannungswandler (Schweitzer). 1. Aufl.

147/52 Erfolgreicher Fernseh-Service. Taschen-Lehrbuch der Fernsehempfänger-Reparaturtechnik (Lummer). 2. Aufl. DM 15.80.

153/156 Fernsehempfänger-Schaltungstechnik (Koubek). 1. Aufl. DM 10.80.

160/61 Relais (Köhler). 1. Aufl.

electronic-baubücher
heute und morgen

301/03 Nf-Elektronik (Sabrowsky). 2. Aufl. DM 7.90.

304/06 Transistor-Schaltverstärker (Sabrowsky). 2. Aufl. DM 7.90.

307/09 Elektronische Schranken und Wächter (Sabrowsky). 2. Aufl. DM 7.90.

310/12 Thyristor-Schalter und -Regler für den Heim- und Werkstattgebrauch (Sabrowsky). 1. Aufl. DM 7.90.

313/15 Elektronische Hilfsgeräte für den Heim- und Werkstattgebrauch (Sabrowsky). 1. Aufl. DM 7.90.

316/18 Digitale Experimentier-Bausteine (Sabrowsky). 1. Aufl. DM 7.90.

319/321 Der leichte Start zum Funkfernsteuern (Sabrowsky). 1. Aufl. DM 7.90.

322/324 Impulstechnik für jedermann (Sabrowsky). 1. Aufl. DM 7.90.

325/327 Sinus-, Rechteck- und Impulsgeneratoren für Prüf- und Meßzwecke (Sabrowsky). 1. Aufl. DM 7.90.

KLEIN, Dr.-Ing. PAUL E.

Netztransformatoren und Drosseln

Berechnung und Bau

3. Auflage

106/107a

Dreifach-Band

Nahezu alle elektronischen Geräte des Unterhaltungs- und des kommerziellen Sektors arbeiten mit Netzanschluß. In den Netzgeräten ist der Netztransformator das wichtigste Teil. Zahlreiche DIN-Normen und VDE-Vorschriften sind bei der Herstellung dieses Bauteils zu berücksichtigen. Alles das wird in dem vorliegenden Bändchen zusammengetragen und steht mit den erforderlichen Berechnungsunterlagen, Daten-Tabellen und Beispielen bequem zur Verfügung.

Der Verfasser, in Riga geboren, studierte an der Technischen Hochschule in Berlin Elektrotechnik, war dann beim deutschen Rundfunk und später bei Siemens im Wernerwerk für Meßtechnik tätig. Nach dem Kriege gründete der Autor eine eigene Entwicklung und Fertigung, die PEK-Elektronik, jetzt in Tettnang, und machte 1947 seinen Dr.-Ing. an der Technischen Hochschule München. Er ist in zahlreichen Gremien des ZVEI, des VDE, FNE und der IEC tätig.

Mit der Elektronik bekam es der Verfasser bereits 1923 in der Schule als Rundfunk-Amateur zu tun, und bis heute ist er ihr treu geblieben. Seit 1925 entstanden zahlreiche Veröffentlichungen in Zeitschriften und in Buchform, und seit 1954 ist er Schriftleiter an der im Franzis-Verlag erscheinenden Zeitschrift ELEKTRONIK.

RADIO-PRAKTIKER BÜCHEREI